

# Univerzita Karlova

Přírodovědecká fakulta

Ústav pro životní prostředí

Studijní program: Ekologie a ochrana prostředí

Studijní obor: Ochrana životního prostředí



Bc. Kateřina Klubalová

## **Charakteristika worm tea - kapalného produktu vermikompostování a perspektivy jeho následného využití**

Characteristics of worm tea - the liquid product of vermicomposting and  
perspectives of its subsequent use

Diplomová práce

Vedoucí práce: RNDr. Petra Innemanová, Ph.D.

Praha, 2019

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci zpracovala samostatně, a že jsem uvedla všechnu použitou literaturu a informační zdroje. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného akademického titulu. Předložená tištěná verze je totožná s elektronickou verzí.

V Praze dne

.....

Podpis

### **Poděkování**

Ráda bych poděkovala především RNDr. Petře Innemanové, Ph.D. za vedení mé diplomové práce, za její ochotu, vstřícnost, poskytnuté rady a čas, který mi věnovala. Dále děkuji Mgr. Elišce Ječmenové a Mgr. Jaroslavu Kuklovi za pomoc s analýzami vzorků a Mgr. Aleně Černíkové Ph.D. za udělené rady týkající se statistického zpracování dat. Poděkování patří také lidem, kteří pro účel této diplomové práce ochotně poskytli vzorky worm tea. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat svým spolužákům za vytvoření přátelského prostředí při studiu a velký dík patří mé rodině za podporu, psychickou i finanční, během celého studia.

# Obsah

|   |    |
|---|----|
| Abstrakt .....  | 6  |
| Abstract .....  | 7  |
| Seznam zkratk .....   | 8  |
| 1. Úvod .....   | 9  |
| 2. Cíle práce a hypotézy .....                                    | 11 |
| 3. Teoretická část .....  | 12 |
| 3.1. Vermikompostování .....                                      | 12 |
| 3.1.1. Fyzikálně-chemické změny v průběhu vermikompostování ..... | 12 |
| 3.1.2. Druhy žízář vhodných pro vermikompostování .....           | 14 |
| 3.1.3. Malé domácí vermikompostéry .....                          | 16 |
| 3.2. Produkty vermikompostování .....                             | 16 |
| 3.2.1. Vermikompost .....   | 16 |
| 3.2.2. Kapalně produkty odvozené od vermikompostování .....       | 18 |
| 3.2.3. Worm tea .....   | 19 |
| 3.3. Hydroponické systémy .....                                   | 21 |
| 3.3.1. Typy hydroponických systémů .....                          | 21 |
| 3.3.2. Substráty .....  | 24 |
| 3.3.3. Živné roztoky .....  | 26 |
| 4. Experimentální část .....                                      | 29 |
| 4.1. Vzorky .....   | 29 |
| 4.2. Chemikálie .....   | 29 |
| 4.3. Přístroje a materiál .....                                   | 30 |
| 4.4. Použité programy .....                                       | 31 |
| 4.5. Ekotoxikologický test na semenech hořčice bílé .....         | 31 |
| 4.5.1. Princip testu .....  | 31 |
| 4.5.2. Testovaný organismus .....                                 | 32 |
| 4.5.3. Podmínky testu .....                                       | 32 |
| 4.5.4. Pracovní postup .....                                      | 32 |
| 4.6. Stanovení vybraných kationtů a aniontů .....                 | 34 |
| 4.6.1. Princip .....  | 34 |
| 4.6.2. Pracovní postup .....                                      | 35 |
| 4.7. Stanovení TOC .....  | 36 |
| 4.7.1. Princip .....  | 36 |
| 4.7.2. Pracovní postup .....                                      | 36 |
| 4.8. Hydroponické pěstování salátu setého .....                   | 37 |

|   |    |
|---|----|
| 4.8.1. Princip .....  | 37 |
| 4.8.2. Testovaný organismus.....  | 40 |
| 4.8.3. Pracovní postup .....  | 41 |
| 4.9. Vermikompostování jako prostředek pro komunitní zpracování bioodpadu ..... | 42 |
| 5. Výsledky .....   | 43 |
| 5.1. Charakterizace worm tea.....   | 43 |
| 5.1.1. Konduktivita a pH .....  | 43 |
| 5.1.2. Obsah kationtů a aniontů.....  | 44 |
| 5.1.3. Obsah TOC.....   | 47 |
| 5.1.4. Korelace mezi naměřenými parametry.....                                  | 48 |
| 5.2. Ekotoxikologický test na semenech hořčice bílé .....                       | 49 |
| 5.3. Hydroponické pěstování salátu setého .....                                 | 51 |
| 6. Diskuze.....   | 56 |
| 7. Závěr .....  | 61 |
| Seznam literatury .....   | 63 |
| Přílohy .....   | 70 |

## Abstrakt

Jedním ze způsobů snížení množství skládkovaného bioodpadu je vermikompostování, jehož produktem je, mimo jiné, i worm tea. Tato diplomová práce se zabývá složením a možnostmi využití worm tea, který je kapalným produktem vznikajícím při vermikompostování. Cílem práce bylo charakterizovat různé vzorky worm tea získané z domácností z hlediska vlastností a složení. Ekotoxikologické testy poté sloužily k optimalizaci ředění worm tea. Směsný vzorek worm tea byl testován jako živný roztok při hydroponickém pěstování. Zároveň byl v rámci práce vyhodnocen roční provoz malého vermikompostéru, coby prostředku ke komunitnímu zpracování bioodpadů.

U jednotlivých vzorků worm tea byla stanovena konduktivita, pH, obsah vybraných kationtů a aniontů a TOC. Hodnoty konduktivity byly dále podrobeny korelačnímu testu s hodnotami inhibice, které byly výsledkem ekotoxikologického testu se *Sinapis alba*. Testování worm tea jako živného roztoku probíhalo v otevřeném hydroponickém systému se sazenicemi *Lactuca sativa*.

Výsledky ukazují, že vzorky worm tea vykazují velkou různorodost a nelze je naředit na základě jejich konduktivity, jak bylo stanoveno v hypotéze. Největší procento vzorků však vykazovalo stimulační vlastnosti při koncentraci 2,5 %. Worm tea se dá využít jako alternativa živného roztoku při hydroponickém pěstování a zároveň má potenciál pro využití jako stimulant při klíčení a počátečním vývoji kořenů rostlin. Vyhodnocení provozu vermikompostéru ukázalo, že se nejedná o nejvhodnější způsob komunitního zpracování bioodpadu.

**Klíčová slova:** worm tea, vermikompostování, bioodpad

## **Abstract**

Vermicomposting is a possible method for reducing the amount of landfilled bio-waste. The product of vermicomposting is called worm tea. The thesis deals with the issue of composition and possible usage of worm tea, which is a liquid product of vermicomposting. The aim was to assess the composition and properties of worm tea samples provided from households. Then a mixed sample was tested as a nutrient solution for hydroponic growing. One year operation of a small vermicomposter as a mean of community bio-waste disposal was also assessed in the thesis.

Conductivity, pH, content of selected cations and anions and TOC were determined for each worm tea sample. Values of conductivity were then assessed by a correlation test with inhibition values gained from an ecotoxicological test with *Sinapis alba*. Testing of worm tea as a nutrient solution was done in an opened hydroponic system with *Lactuca sativa* seedlings.

Results show that samples of worm tea are very different and they can not be watered down according to their conductivity as was hypothesised. The largest percentage of samples evinced stimulating qualities in a concentration of 2,5 %. Worm tea can be used as an alternative of nutrient solution for hydroponic growth and it has potential for utilization as an stimulant for germination and initial development of the roots of plants. Evaluation of a vermicomposter operation revealed that it is not the most suitable way of community bio-waste disposal.

**Key words:** worm tea, vermicomposting, bio-waste

## Seznam zkratek

|             |   |
|-------------|---|
| BRKO        | Biologicky rozložitelný komunální odpad             |
| BRO         | Biologicky rozložitelný odpad                       |
| CFU         | Colony Forming Units                                |
| DFT         | Deep Flow Technique                                 |
| DP          | Diplomová práce                                     |
| EC          | Electric Conductivity (elektrická konduktivita)     |
| EDTA        | kyselina ethylendiamintetraoctová                   |
| IAA         | kyselina indol-3-octová                             |
| IC          | Inorganic Carbon (anorganický uhlík)                |
| IR detektor | Infračervený detektor                               |
| MDL         | Detekční limit metody                               |
| MSA         | Methanesulfonic acid (methansulfonová kyselina)     |
| NFT         | Nutrient Film Technique                             |
| PGRs        | Plant Growth Regulators (Rostlinné růstové hormony) |
| POH ČR      | Plán odpadového hospodářství ČR                     |
| TC          | Total Carbon (celkový uhlík)                        |
| TOC         | Total Organic Carbon (celkový organický uhlík)      |



# 1. Úvod

Tato diplomová práce se zabývá charakterizací kapalného produktu vermikompostování (worm tea), vzniklého při vermikompostování v malém měřítku v domácích vermikompostérech. Práce řeší vlastnosti a složení worm tea a možnosti jeho využití.

Aktuální Plán odpadového hospodářství ČR (POH ČR) pro roky 2015-2024 ukládá snížit množství skládkovaného biologicky rozložitelného komunálního odpadu (BRKO) do roku 2020 na 35 % vzhledem k množství BRKO vyprodukovaného v roce 1995, což činilo 1,53 milionů tun (MŽP ČR, 2014). Vzhledem k tomuto nařízení je nutné poukazovat na různé způsoby, jak vyprodukovaný bioodpad separovat a zpracovávat. Kromě opatření ve velkém měřítku, jako je zavedení systému odděleného sběru biologicky rozložitelných odpadů (BRO), podpory maximálního využívání BRO a produktů z jejich zpracování nebo podpory budování a rozvoje infrastruktury nutné k zajištění využití BRO (MŽP ČR, 2014), je jednou z možností, jak zpracovávat bioodpad vyprodukovaný domácností, tedy v malém měřítku, domácí, popřípadě komunitní vermikompostování. Vermikompostování je biotechnologický proces, kterým je energeticky bohatý organický materiál přeměňován pomocí žížal na stabilní produkt, vermikompost (Benítez a kol., 2000). Aby se však tento způsob zpracování bioodpadů produkovaných domácnostmi více rozšířil mezi veřejnost, je třeba poukazovat na výhody, které s sebou přináší a tím motivovat občany ke zpracovávání domácího bioodpadu metodou vermikompostování. Zmíněnými výhodami jsou produkty, které při vermikompostování vznikají, vermikompost a worm tea. Využití vermikompostu, coby organického hnojiva a prostředku pro zlepšení kvality půdy, je známé (Gajalakshmi a Abbasi, 2003), proto jsem jako téma diplomové práce zvolila charakterizaci worm tea, nazývaného také žížalí čaj, který je kapalným produktem vznikajícím při vermikompostování (Carlos a kol., 2008), a u kterého je velká perspektiva následného využití.

Pro mou diplomovou práci jsem získala 34 vzorků worm tea z domácností, které provozují malé domácí vermikompostéry. Vzorky byly charakterizovány z hlediska vlastností (konduktivita, pH) a složení (vybrané kationty a anionty a obsah celkového organického uhlíku - TOC). Pomocí ekotoxikologického testu na semenech hořčice bílé bylo zjišťováno optimální ředění worm tea pro jeho další využití jako hnojiva a dále byla zjišťována vhodnost worm tea jako alternativy živného roztoku při hydroponickém pěstování, tedy pěstování rostlin pouze ve vodném roztoku, bez půdy jako živného substrátu.

Stanovila jsem si čtyři cíle. Prvním cílem této DP bylo zjistit vlastnosti a složení worm tea. Konkrétně konduktivitu a pH, dále obsah vybraných kationtů a aniontů za použití kapalinového chromatografu Dionex IonPac™ AS9-HC a obsah TOC pomocí analyzátoru FORMACS<sup>HT</sup> TOC/TN.

Druhým cílem bylo stanovit pomocí ekotoxikologických testů na semenech hořčice bílé optimální ředění worm tea pro jeho další využití jako hnojiva nebo živného roztoku, jelikož worm tea je nutné před použitím naředit.

Třetím cílem bylo ověření vhodnosti worm tea jako alternativy živného roztoku pro hydroponické pěstování a to pomocí pěstování sazenic salátu setého v otevřeném hydroponickém systému a dále posouzení vhodnosti ovčí vlny jako podpůrného substrátu při hydroponickém pěstování, který by mohl nahrazovat běžně používanou minerální vatu.

Čtvrtým cílem bylo posoudit vhodnost vermikompostování jako prostředku pro komunitní zpracování bioodpadů, tzn. zpracování bioodpadů v rámci škol, bytových domů apod. Vermikompostování se totiž provozuje buď v malém měřítku (domácí vermikompostování) nebo naopak v měřítku průmyslovém (vermireaktory). O využití malých vermikompostérů při komunitním zpracování bioodpadů nejsou informace.

## **2. Cíle práce a hypotézy**

### **Cíle**

1. Charakterizace worm tea z hlediska vlastností (pH, konduktivita) a složení (obsah vybraných kationtů a aniontů, obsah TOC)
2. Zjištění optimálního ředění worm tea pro jeho další využití.
3. Zjištění vhodnosti worm tea jako alternativy živného roztoku pro hydroponické pěstování a posouzení vhodnosti ovčí vlny jako podpůrného substrátu při hydroponickém pěstování.
4. Posouzení vhodnosti vermikompostování jako prostředku pro komunitní zpracování bioodpadů.

### **Hypotézy**

1. Inhibiční účinky worm tea korelují s obsahem iontů a tedy hodnotou elektrické vodivosti (konduktivity). Tento parametr bude využitelný pro optimalizaci ředění worm tea před jeho použitím.
2. Worm tea může částečně nahradit živný roztok při hydroponickém pěstování a ovčí vlna může být použita jako podpůrný substrát při hydroponickém pěstování.

### 3. Teoretická část

#### 3.1. Vermikompostování

Vermikompostování je biotechnologický proces, při kterém dochází k přeměně organického materiálu ve stabilní produkt, vermikompost (Nagavallemma a kol., 2004). Proces vermikompostování nezahrnuje, na rozdíl od kompostování, termofilní fázi, tedy fázi, při které dochází k vysokému nárůstu teploty a hygienizaci kompostu. K přeměně organického odpadu dochází prostřednictvím interakce určitých druhů žížal s mikroorganismy. Žížaly jsou klíčovými organismy procesu. Mechanicky rozmělní organický substrát, čímž urychlují jeho stabilizaci, ovlivňují jeho fyzikální, chemické a biologické vlastnosti, postupně snižují C:N poměr a zvětšují povrch pro mikroorganismy, které jsou zodpovědné za biochemickou degradaci organického materiálu (Domínguez, 2004). Střevo žížal hraje důležitou roli ve zpracování organické hmoty (Drake a Horn, 2007). Aktivita endosymbiotických mikroorganismů a střevních enzymů jako je celuláza, proteáza, chitináza a fosfatáza, vede k transformaci požitých organické hmoty v cenný produkt, který obsahuje esenciální živiny v dostupné formě (Zhang a kol., 2000). Složení mikroflóry a počet mikroorganismů ve střevě žížal se liší v závislosti na druhu žížal a substrátu, kterým se živí (Parthasarathi a kol., 2007). Kromě bakterií hrají významnou roli při procesu vermikompostování také houby, zejména celulótické, jejichž množství se v průběhu vermikompostování zvyšuje. Celuláza produkovaná těmito houbami pak výrazně napomáhá dekompozici celulótického materiálu (Yasir a kol., 2009).

##### 3.1.1. Fyzikálně-chemické změny v průběhu vermikompostování

Vermikompostování prokazatelně mění fyzikálně-chemické parametry vermikompostovaného materiálu. V průběhu vermikompostování dochází k poklesu pH, celkového organického uhlíku, elektrické konduktivity a C:N poměru, zatímco dochází k nárůstu obsahu celkového dusíku, dostupného fosforu, výměnného draslíku a vápníku (Nath a kol., 2009).

##### **Hodnota pH a elektrická konduktivita (EC)**

S dobou vermikompostování pH pomalu klesá ze silně alkalického do mírně alkalického. Pokles pH je přisuzován mineralizaci dusíku a fosforu na dusitany/dusičnany, respektive na ortofosforečnany a biokonverzi organického materiálu na meziprodukty

organických kyselin (Ndegwa a Thompson, 2000). Při vermikompostování dále dochází k produkci CO<sub>2</sub> a organických kyselin mikrobiální dekompozicí organického materiálu (Chaudhuri a kol., 2000 podle Hartenstein a Hartenstein, 1981). Chaudhuri a kol. (2000) sledovali postupné chemické změny, které probíhaly při vermikompostování kuchyňského odpadu za použití žížal druhu *Perionyx excavatus*. Kuchyňský odpad, který obsahoval slupky ovoce (banán), zeleniny (cibule, brambory), listy zelí, části kvěťáku a mrkve a vaječné skořápky měl po 40 dnech vermikompostování pH nižší (>7,5) než po 40 dnech kompostování (>8,0).

Během vermikompostování dochází též ke snížení hodnoty elektrické konduktivity o 30-50 % oproti počátečním hodnotám (Nath, 2009).

### **Uhlík**

Obsah uhlíku v materiálu během vermikompostování klesá. Elvira a kol. (1998) popsali, že k největším ztrátám uhlíku dochází na konci procesu vermikompostování. To samé popsali i Chaudhuri a kol. (2000), kteří pozorovali malý pokles obsahu uhlíku během prvních 10 dnů vermikompostování, na konci procesu však nastal pokles v obsahu uhlíku až o 60 %, což indikuje, že žížaly na konci procesu zrychlily dekompozici organického materiálu. Žížaly mění podmínky substrátu, které postupně podporují ztráty uhlíku ve formě CO<sub>2</sub> skrze mikrobiální respiraci a mineralizaci organické hmoty (Nath a kol., 2009). Tělní tekutiny a exkrementy (mukus, amoniak, moč) produkované žížalami totiž podporují mikrobiální růst (Nath a kol., 2009 podle Suthar, 2007).

### **Dusík**

Obsah celkového dusíku během vermikompostování stoupá díky mineralizaci organické hmoty (Nath a kol., 2009). Zároveň žížaly produkují mukus, což je slizovitý exkret bohatý na dusík, čímž se zvyšuje jeho obsah ve vermikompostu. Pokles pH při vermikompostování může být také důležitým faktorem v zadržování dusíku v materiálu, jelikož při vyšším pH může docházet ke ztrátám dusíku ve formě amoniaku, který vytěká (Nath a kol., 2009 podle Hartenstein a Hartenstein, 1981). K určitým ztrátám dusíku pak dochází jeho inkorporací do tkání žížal (Chaudhuri a kol., 2000).

### **Fosfor**

Obsah fosforu během vermikompostování roste (Chaudhuri a kol., 2000). Gosh a kol. (1999) popsali vyšší míru přeměny fosforu z organické do anorganické a tedy dostupné

formy během vermikompostování, než při kompostování. Zvýšení obsahu fosforu během vermikompostování je pravděpodobně způsobeno mineralizací a mobilizací fosforu díky aktivitě fosfatázy bakterií a žížal (Krisnamoorthy, 1990). Jako výsledek zvýšené aktivity fosfatázy tedy klesá obsah organického fosforu, zatímco roste obsah fosforu anorganického (Bayon a Binet, 2006). Bayon a Binet (2006) přisuzují zvýšení obsahu dostupného fosforu změnám v sorpčních komplexech, indukovaných kompeticí o sorpční místa mezi orthofosforečnany a karboxylovými skupinami glykoproteinů, jako je mukus produkovaný střevem žížal.

### **Poměr C:N**

Poměr C:N je indikátor používaný ke zhodnocení zralosti kompostu. V průběhu vermikompostování díky dekompozici organického materiálu C:N poměr klesá (Nath a kol., 2009). Pokles C:N poměru byl při vermikompostování kuchyňského odpadu, prováděného Chaudhuri a kol. (2000), výrazný až od 30. dne a na konci procesu byl poměr výrazně nižší než u kompostovaného materiálu. Z naměřených dat vyplývá, že ideálního C:N poměru 8,2 bylo dosaženo po 30 dnech vermikompostování. Tento poměr je ideální k aplikaci vermikompostu pro podpoření mikrobiální aktivity v půdě (Chaudhuri a kol., 2000).

### **Draslík**

Obsah draslíku při vermikompostování prováděném Nath a kol. (2009) mírně narostl. Nath a kol. (2009) podle Suthar (2007) uvádí, že materiál zpracovaný žížalami obsahuje vyšší koncentrace výměnného draslíku díky zvýšené mikrobiální aktivitě během vermikompostování, která zrychluje a zlepšuje míru mineralizace.

### **Vápník**

Koncentrace celkového vápníku během vermikompostování roste. Uvádí se, že za tento nárůst jsou primárně zodpovědné procesy ve střevě žížal spojené s metabolismem vápníku (Nath a kol., 2009 podle Hartenstein a Hartenstein, 1981).

#### **3.1.2. Druhy žížal vhodné pro vermikompostování**

Při vermikompostování se používají pouze vybrané druhy žížal. Žížaly jsou kroužkovci, kteří se řadí do třídy máloštětinatců. V současné době je popsáno více než 6000 druhů žížal. Tito bezobratlí živočichové výrazně ovlivňují fyzikální, chemické a biologické

vlastnosti půdy, utváří půdní strukturu, urychlují dekompozici organické hmoty a cyklus živin v půdě (Domínguez, 2018).

Různé druhy žížal mají odlišné životní strategie a obsazují odlišné ekologické niky. Podle jejich stravovacích návyků a části půdního profilu, který obývají, jsou členěny do tří hlavních ekologických skupin: epigeické, anetické a endogeické. Epigeické žížaly žijí v organickém horizontu, na nebo blízko půdního povrchu a živí se převážně rozkládající se organickou hmotou. Jsou obvykle malé, pigmentované a mají vysokou rychlost metabolismu a rozmnožování, která jim dovoluje adaptovat se na měnící se podmínky na půdním povrchu. Tato skupina žížal se vyznačuje vysokým tempem konzumace potravy, trávení a asimilace organické hmoty. Mezi epigeické žížaly patří například *Eisenia fetida*, *Eisenia andrei*, *Dendrobaena veneta*, *Dendrobaena hortensis* nebo *Dendrobaena octaedra*.

Endogeické žížaly žijí hluboko v půdním profilu a živí se převážně půdou a s ní asociovanou organickou hmotou. Tato skupina žížal se vyznačuje malou pigmentací a tvorbou horizontálních chodeb, které vyplňují svými exkrementy. Endogeické žížaly mají nízkou míru reprodukce a delší životní cyklus než žížaly epigeické. Jsou více odolné vůči nepříznivým podmínkám, jako je sucho a nedostatek potravy. Do této skupiny se řadí většina druhů žížal, například *Aporrectodea caliginosa*, *Aporrectodea rosea* nebo *Octolasion lacteum*.

Anetické žížaly žijí ve vertikálních chodbách, které mohou sahát i do hloubky několika metrů. Tyto žížaly vylézají v noci k povrchu, kde se živí rozkládající se organickou hmotou a výkaly, které transportují do svých chodeb v půdním profilu. Anetické žížaly jsou obvykle velké a vyznačují se tmavě hnědým zbarvením. Mají relativně nízké tempo reprodukce a dlouhý životní cyklus. Typickým zástupcem této skupiny je *Lumbricus terrestris* (Domínguez, 2018).

Epigeické žížaly se živí z 90 % organickým materiálem a pouze z 10 % půdou, na rozdíl od endogeických žížal, které požírají 90 % půdy a pouze 10 % organického materiálu (Nagavallemma a kol., 2004). Jelikož při vermikompostování se zpracovává pouze organický materiál, který slouží jako substrát a potrava zároveň, používají se pouze epigeické druhy žížal, přičemž nejvíce používaným druhem je *Eisenia andrei* a *Eisenia fetida*, které jsou zobrazené v Příloze 1 (Domínguez, 2018). *Eisenia andrei* a *Eisenia fetida* jsou příbuzné druhy široce používané díky jejich krátkému životnímu cyklu, vysokému tempu reprodukce a zpracování organické hmoty. Jsou tolerantní vůči širokému rozmezí teplot a vlhkosti, snadno se s nimi zachází (chov, manipulace) a jsou široce rozšířené. Právě

kvůli těmto vlastnostem jsou *Eisenia andrei* a *Eisenia fetida* druhy vhodné pro vermikompostování (Domínguez a Edwards, 2010).

### 3.1.3. Malé domácí vermikompostéry

Cílem diplomové práce bylo charakterizovat kapalný produkt, worm tea, který vzniká při vermikompostování provozovaném v domácnostech v malých vermikompostérech. Malé domácí vermikompostéry jsou uzavřené nádoby ze dřeva nebo plastu, které nacházejí uplatnění zejména v bytech a kancelářích. Vermikompostéry jsou nejčastěji vyráběné v patrovém provedení, kdy ke zpracování bioodpadu dochází postupně v jednotlivých patrech vermikompostéru. Vermikompostér se tedy skládá z podstavce, jednotlivých pater, která se přidávají podle potřeby, víka a sběrné nádoby s odpustným kohoutem, kterým se vypouští tekuté hnojivo, worm tea. Schéma domácího vermikompostéru je zobrazeno v Příloze 2. Při zahájení vermikompostovacího procesu se nejprve do prvního patra umístí podestýlka. Nejčastěji se používá natrhaný a navlhčený papír, plata od vajíček, listí nebo tráva. Na podestýlku se následně vloží násada žížal. Udává se, že 0,5 kg žížal zkonzumuje zhruba 0,25 kg bioodpadu denně, přičemž objem bioodpadu se zmenší až na 1/4 původního objemu. Po vložení násady se žížaly nechají nějaký čas aklimatizovat a poté se začne první patro plnit bioodpadem. Po naplnění prvního patra se přidá další patro, kam se dává bioodpad, a po zpracování veškerého bioodpadu v prvním patře žížaly přelezou dírami ve dně do patra vyššího. V prvním patře zůstává hotový vermikompost, který se odebere a prázdné patro se opět přidá do sestavy jako nejvyšší patro. Celý tento koloběh se opakuje bez nutnosti přidávání nové násady žížal (Hanč a Plíva, 2013).

## 3.2. Produkty vermikompostování

### 3.2.1. Vermikompost

Vermikompost je výsledný produkt vermikompostování obohacený o dostupné formy makronutrientů (dusík, fosfor, draslík, síra, vápník, hořčík) a mikronutrientů (železo, měď, zinek a další prvky) (Chaulagain a kol., 2017). Je to produkt netermofilní biodegradace organického materiálu vzniklý činností žížal a s nimi asociovaných mikrobů. Základními vlastnostmi vermikompostu jsou nízký poměr C:N, vysoká porozita a aerace a vysoká kapacita pro zadržování vody (Edwards a Burrows, 1988). Díky těmto parametrům vermikompost zlepšuje fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půdy a podporuje růst rostlin (Kale, 1998). Obsah živin ve výsledném vermikompostu závisí na vstupním materiálu. Obvykle obsahuje vyšší množství všech minerálních prvků v dostupné formě než



výchozí materiál, který vstupuje do vermikompostování (Edwards a Bohlen, 1996). Důležité živiny jako je dusík, fosfor, draslík a vápník přítomné ve vstupním materiálu, jsou mikrobiální činností přeměněny v pro rostliny dostupné formy (Kaushik a Garg, 2003). Mikroorganismy totiž mineralizují komplexní sloučeniny, čímž se uvolňují živiny v dostupné formě (Tomati a kol., 1988). Tabulka č. 1 ukazuje procentuální zastoupení jednotlivých prvků a C:N poměr v kompostu a vermikompostu, kdy vstupním materiálem byl kuchyňský odpad.

Tabulka č. 1: Obsah jednotlivých prvků v kompostu a vermikompostu po 40 dnech od zahájení procesu (Chaudhuri a kol., 2000).

|                             | <b>Počátek</b> | <b>Kompost</b> | <b>Vermikompost</b> |
|-----------------------------|----------------|----------------|---------------------|
| Celkový organický uhlík [%] | 36,8           | 15,2           | 10,48               |
| Celkový dusík [%]           | 3,49           | 1,78           | 1,67                |
| C:N poměr                   | 10,55          | 8,53           | 6,41                |
| Celkový fosfor [%]          | 0,89           | 1,38           | 1,09                |
| Celkový draslík [%]         | 2,18           | 1,22           | 0,85                |
| Celkový vápník [%]          | 4,73           | 4,30           | 2,83                |
| Celkový hořčík [%]          | 0,54           | 0,61           | 0,40                |

Ve vermikompostu jsou obsaženy růstové hormony auxiny, cytokininy a gibereliny, které jsou nezbytné pro růst rostlin (Edwards a kol., 2004), a které jsou produkovány přítomnými mikroorganismy (Arshad a Frankenberger, 1992). Tomati a kol. (1988) provedli analýzu obsahu giberelinů, cytokininů a auxinů ve výměšcích žížal. Obsah giberelinů byl 2,75 µg/g, obsah cytokininů 1,05 µg/g a obsah auxinů 3,80 µg/g, což jsou hodnoty srovnatelné s množstvím vyskytujícím se v půdě a v rhizosféře mnoha rostlin. Důležitou složkou vermikompostu jsou také humínové kyseliny, které poskytují vazebná místa pro živiny, jako je fosfor, draslík, síra, železo nebo vápník a uvolňují tyto prvky, když je rostliny vyžadují, čímž stimulují růst rostlin i při jejich malém obsahu v půdě (Canellas a kol., 2000; Zandonadi a kol., 2006).

Vermikompost má ve srovnání s klasickým kompostem vyšší mikrobiální diverzitu a vyšší počet jedinců v rámci bakterií, hub a aktinomycet (Nagavallemma a kol., 2004), což je dáno přítomností žížal používaných v procesu vermikompostování (Drake a Horn, 2007). Obsahuje bakterie rodu *Azobacter*, *Rhizobium*, *Nitrobacter* a fosfát rozpouštějící bakterie

(Edwards a kol., 2004) a houby rodu *Aspergillus*, *Fusarium*, *Mucor*, *Cladosporium*, *Trichoderma*, *Absidia* nebo *Stachbotrys* (Nagavallemma a kol., 2004). Experiment na stanovení počtu bakterií, hub a aktinomycet provedl Nagavallemma a kol., 2004. Ve vermikompostu bylo zjištěno  $54 \times 10^6$  CFU bakterií na gram vermikompostu,  $8 \times 10^4$  hub na gram vermikompostu a  $1 \times 10^4$  aktinomycet na gram vermikompostu, což bylo méně než v částečně rozloženém organickém odpadu připraveném na vermikompostování, ale více ve srovnání s klasickým kompostem.

### 3.2.2. Kapalné produkty odvozené od vermikompostování

Pro kapalné produkty vznikající při vermikompostování se používá několik termínů – vermiwash, vermicomposting leachate/vermi-leachate, worm bed leachate, worm tea nebo vermicompost tea (Quaik a Ibrahim, 2013). U nás je laickou veřejností používaný také termín žízalí čaj.

Vermiwash je termín, který se používá pro produkt vznikající proléváním vody vermikompostovací jednotkou se zpracovávaným materiálem. Protékající voda sbírá exkreční a sekreční produkty (mukus) žízal, mikronutrienty a některé organické látky a odpouští se z vermikompostéru jako tekuté hnojivo (Ansari, 2008 podle Ismail, 1997).

Pojmy vermicomposting leachate, worm bed leachate nebo worm tea jsou používané pro produkty vznikající při procesu vermikompostování, kdy je dekompozicí organického materiálu mikroorganismy uvolňována voda, která stéká na dno nádoby, odkud se odpouští (Quaik a kol., 2012; Carlos a kol., 2008 podle Warburton a Pillai-McGarry, 2002). Pro vznik těchto produktů se tedy materiál neprolévá nadbytečným množstvím vody, ale vzniká pouze z vody a tekutin uvolněných při dekompozici organického materiálu.

Název vermicompost tea se používá pro vodný extrakt z vermikompostu (Arancon a kol., 2012), přičemž při jeho výrobě se používají různé typy extrakčních metod, od nichž se pak odvozují i názvy vermicompost tea a to provzdušněný vermicompost tea, neprovzdušněný vermicompost tea nebo provzdušněný vermicompost tea doplněný o mikroorganismy (Pant a kol., 2011).

Předmětem zkoumání mé DP je kapalný produkt vznikající samovolně při vermikompostování organického materiálu v malých domácích vermikompostérech, kdy se do vermikompostovací jednotky nepřidávají žádné větší objemy vody a produkt není vytvořen extrakční metodou z vermikompostu, proto je v DP produkt nazýván worm tea.

### 3.2.3. Worm tea

Worm tea je tmavý kapalný produkt bez zápachu, bohatý na živiny, který je získáván vermikompostováním široké škály organických odpadů (Aremu a kol., 2014). Složení worm tea se liší a závisí na substrátu a materiálu, který se vermikompostováním zpracovává (Quaik a kol., 2016). Jako je běžné u ostatních biostimulantů, i worm tea se aplikuje v nízkých koncentracích buď jako půdní hnojivo nebo listové hnojivo k vyvolání různých fyziologických odpovědí u rostlin. Právě kvůli nízkým koncentracím, které se používají, nemohou být všechny příznivé efekty, které worm tea vyvolává přisuzovány pouze zvýšenému přísunu makro- a mikro- nutrientů, nýbrž jako aktivní přísady jsou považovány PGRs (rostlinné růstové hormony) a ostatní biomolekuly (Aremu a kol., 2014).

Základními složkami worm tea jsou minerální prvky v dostupné formě, humínové kyseliny, fulvokyseliny, fenolové kyseliny a PGRs (Aremu a kol., 2014). Tabulka č. 2 ukazuje množství jednotlivých prvků ve worm tea analyzovaném Quaik a kol. (2012). Vzorek byl získán z vermikompostování zeleninového odpadu.

Tabulka č. 2: Složení worm tea získaného ze zeleninového odpadu.

| <i><b>Parametr</b></i>               | <i><b>Množství</b></i> |
|--------------------------------------|------------------------|
| pH (poměr worm tea: voda 1:10)       | 7,5                    |
| Celkový uhlík [g·L <sup>-1</sup> ]   | 9,4                    |
| Celkový dusík [g·L <sup>-1</sup> ]   | 0,7                    |
| Celkový fosfor [g·L <sup>-1</sup> ]  | 0,4                    |
| Celkový draslík [g·L <sup>-1</sup> ] | 0,5                    |
| Vápník [mg·L <sup>-1</sup> ]         | 94                     |
| Bor [μg·L <sup>-1</sup> ]            | 182                    |

Množství fulvokyselin a humínových kyselin ve worm tea analyzovaném Gutiérrez-Miceli a kol. (2016) bylo 1,5 %, respektive 2,4 % z obsahu celkového uhlíku. Poměr humínových kyselin a fulvokyselin byl 1,6. Humínové kyseliny ovlivňují růst rostlin zvyšováním příjmu aniontů a kationtů, zvyšováním syntézy proteinů a zlepšováním adsorpce mikro- a makro- nutrientů (Tomati a kol., 1988). Umožňují tedy rostlinám získat živiny z půdy. Fulvokyseliny pomáhají rostlinám překonat stres a rozpouštět minerální prvky vyskytující se v půdě v nerozpustné formě tvorbou rozpustných komplexů (Li a kol., 2010; Vrba a Huleš, 2006). Aremu a kol. (2014) prokázali přítomnost fenolových kyselin,

auxinů, cytokininů, giberelinů a brassinosteroidů ve worm tea získaném z vermikompostování zahradního odpadu, převážně zeleniny. Ve worm tea byly detekovány čtyři druhy fenolových kyselin v nízkých koncentracích ( $<4\mu\text{g/ml}$ ) – protocatechová kyselina, *p*-hydroxybenzoová kyselina, *p*-kumarová kyselina a kyselina ferulová. Fenolové sloučeniny mají vliv při utváření orgánů rostlin a hrají roli při ochraně před oxidativním stresem (Balasundram a kol., 2006). Jsou součástí obranného systému rostlin proti infekcím a mikrobům, proto může přítomnost fenolových kyselin ve worm tea přispět k obraně před biotickým i abiotickým stresem. Přestože jsou některé druhy fenolových kyselin potenciální alelopatické látky, které inhibují růst, tyto látky mohou současně při nízkých koncentracích vyvolat stimulační efekt na jiné rostlinné orgány (Einhellig, 2004). Při vysokých koncentracích, které se vyskytují například ve vermikompostu, byly pak rostliny pohnojené vermikompostem méně často napadány škůdci a byly více odolné vůči nemocem v porovnání s rostlinami, které byly pohnojeny anorganickými hnojivy (Theunissen a kol., 2010).

Auxiny jsou významnou skupinou rostlinných hormonů. Chemicky jsou to aromatické látky s karboxylovou skupinou (Aremu a kol., 2014). Ve vzorcích worm tea analyzovaných Aremu a kol. (2014) byla detekována pouze kyselina indol-3-octová (IAA), což je nejrozšířenější přirozeně se vyskytující auxin, který je zahrnut v mnoha fyziologických procesech probíhajících v rostlinách, jako například stimulace elongace buněk, inhibice prodlužování kořenů, stimulace tvorby postranních kořenů, regulace gravitropismu a fototropismu. Koncentrace IAA ve vzorku worm tea byla relativně velká v porovnání s cytokininy.

Také přítomnost giberelinů ve worm tea byla prokázána. Gibereliny jsou tetracyklické diterpenoidy, které hrají důležitou roli ve všech fázích životního cyklu rostlin. Podporují klíčení, elongaci hypokotylu, růst orgánů, kvetení a vývoj květu a semen (Aremu a kol., 2014 podle Piotrowska a Bajguz, 2011). Gibereliny také zmírňují biotický a abiotický stres, například salinitu (Iqbal a kol., 2014).

Cytokininy hrají důležitou roli při stimulaci růstu rostlin. Jsou to přirozeně se vyskytující látky, které jsou esenciální pro regulaci mnoha fyziologických a vývojových procesů jako kořenová apikální dominance, větvení, produkce chlorofylu, senescence nebo růst kořene rostlin (Sakakibara, 2006). Ve worm tea se vyskytovaly pouze isoprenoidní cytokininy, nikoliv cytokininy aromatické, což je dáno tím, že ve vyšších rostlinách převažují isoprenoidní cytokininy a worm tea byl získán z vermikompostování zeleninového odpadu (Aremu a kol., 2014).

Koncentrace brassinosteroidů ve worm tea analyzovaném Aremu a kol. (2014) byly nižší ve srovnání s cytokininy a gibereliny, nicméně brassinosteroidy jsou efektivní i při velmi nízkých koncentracích. Brassinosteroidy podporují dělení buněk, elongaci a ovlivňují růst stonku, kořene a počátek kvetení, včetně rozvoje květu a plodu (Aremu a kol., 2014 podle Piotrowska a Bajguz, 2011). Brassinosteroidy navíc chrání rostliny před abiotickým i biotickým stresem (Divi a Krishna, 2009).

### 3.3. Hydroponické systémy

Hydroponický systém je kultivační technologie, která umožňuje pěstování rostlin bez půdního substrátu, pouze v živném roztoku, eventuálně za použití inertního podpůrného média (Chow a kol., 2017 podle Bhattarai a kol., 2008). Tato technologie nabízí, v závislosti na typu systému, účinné a efektivní využití vody a hnojiv, snazší kontrolu pěstebních podmínek a minimální využití chemikálií proti škůdcům a chorobám, které povětšinou pocházejí z půdy. Riziko napadení rostlin škůdci a plísněmi se při hydroponickém pěstování snižuje téměř na nulu (Lommen, 2007; Hussain a kol., 2014). Rostliny pěstované v hydroponických systémech mají trvale dobrou kvalitu, vysoké výnosy a vysoký obsah živin (Hussain a kol., 2014).

Pojem hydroponie zavedl v roce 1937 W.F. Gerick pro pěstování rostlin ve vodě. Slovo pochází z řeckého hydro – voda a ponos – práce. První publikace o rostlinách pěstovaných pouze v živných roztocích však pochází již z roku 1627. V roce 1859 pak botanikové Julius von Sachs a Wilhelm Knop vynalezli techniku pro pěstování rostlin ve vodě, která je dodnes považována za jeden typ hydroponie. V roce 1960 pak Allen Cooper vynalezl NFT, Nutrient Film Technique, hydroponickou techniku, která je popsána níže. (Hussain a kol., 2014).

Pouze v živném roztoku může být teoreticky pěstována každá rostlina, nejčastěji se však využívá při pěstování zeleniny a zahradních rostlin. V hydroponickém systému mohou být úspěšně pěstovány jahody, rajčata, zelené fazolky, řepa, cibule, ředkvičky, melouny, okurky, papriky, zelí, saláty, rýže a kukuřice. Z bylinek bazalka, máta, petrželka a oregano. Z květin pak například růže, měsíček, karafiáty nebo chryzantémy (Hussain a kol., 2014 podle Singh a Singh, 2012).

#### 3.3.1. Typy hydroponických systémů

Různé hydroponické systémy se liší v několika aspektech. Rostliny mohou být pěstovány v samotném živném roztoku nebo v živném roztoku v kombinaci s pevným

materiálem, substrátem. Dále se liší v typu použitého substrátu, způsobu, kterým je živný roztok rostlině doplňován, ve frekvenci doplňování živin, úpravy pH a výměny nebo recyklace živného roztoku (Lommen, 2007).

Pojem hydroponie původně znamenal pěstování pouze v živném roztoku bez podpůrného média. Dnes je do něj ale zahrnováno i pěstování s pevným substrátem pro ukotvení kořenů. Tato technika je nazývána agregátní (sdružený) systém (Hussain a kol., 2014). Hydroponické pěstování můžeme tedy rozdělit na kultivační systém bez substrátu, kam patří například NFT (Maucieri a kol., 2018) a kultivační systém s médiem, kde určitý objem substrátu zajišťuje upevnění kořenů, substrát pro mikroorganismy a nasáknutí živného roztoku. Tato skupina se dále dělí podle druhu použitého substrátu – organický, anorganický a syntetický (Maucieri a kol., 2018 podle Enzo a kol., 2001). Další dělení hydroponických systémů je podle metody doplňování živného roztoku kořenům rostlin (Hussain a kol., 2014) a to na systémy, kde je živný roztok statický, zde musí být zajištěno provzdušnění, a na systémy, kde živný roztok kontinuálně protéká podél kořenů (Lommen, 2007). Podobné dělení je pak na systém otevřený, kdy je živný roztok jednou dodaný kořenům a není znovu využit, a uzavřený, kdy je zbylý roztok odveden, doplněn o živiny a znovu využit. Současné hydroponické systémy mohou být klasifikovány podle použité techniky (Hussain a kol., 2014).

#### **A) Kapalné hydroponie**

Může být využito uzavřeného systému, cirkulační metody, kdy je živný roztok čerpán ke kořenovému systému a přebytek je sbírán, doplněn o živiny a znovu využit, nebo otevřeného systému, tedy bez cirkulace. V otevřených systémech živný roztok necirkuluje, ale je použit pouze jednou. Když poklesne obsah živin nebo se změní pH či EC, roztok je vyměněn.

##### **NFT – "Nutrient Film" metoda**

NFT je cirkulační metoda, při které jsou kořeny rostlin přímo vystaveny živnému roztoku. Je zde konstantní tok živného roztoku, který je čerpán do trubice, která přináší roztok ke kořenům a poté vytéká zpět do rezervoáru. Obvykle se zde nepoužívá žádné růstové médium. Rostliny jsou upevněny v malém plastovém košíku, ze kterého kořeny padají přímo do živného roztoku. Nevýhoda NFT systému je náchylnost na výpadky energie, jelikož využívá čerpadlo a kořeny velmi rychle vysychají, když je přívod roztoku přerušen.

### **DFT – "Deep Flow" metoda**

U tohoto systému je živný roztok čerpán do PVC trubice, do které jsou připevněny plastové nádoby s rostlinami. Dna nádob jsou v kontaktu s živným roztokem, který protéká trubicí, jedná se tedy taktéž o cirkulační metodu. Přebytečný roztok stéká skrze trubici do sběrné nádoby, kde dojde k jeho provzdušnění. PVC trubice jsou mírně nakloněny, aby byl umožněn průtok živného roztoku.

### **"Root dipping" metoda**

Při této technice jsou rostliny pěstovány v malých květináčích vyplněných růstovým médiem. Nádoby jsou umístěny tak, že jejich dno je ponořeno v živném roztoku. Některé kořeny jsou ponořené v roztoku, ze kterého přijímají živiny, některé visí ve vzduchu. Tato technicky nenáročná metoda je levná a nevyžaduje skoro žádnou údržbu. Navíc nevyžaduje využití energie, čerpadel nebo kanálů, jedná se o otevřený systém bez cirkulace.

### **"Floating" metoda**

Jedná se o hydroponický systém bez cirkulace. Rostliny jsou umístěny v mělkých květináčích upevněných na polystyrenové desce, která pluje v nádobě s živným roztokem. Živný roztok je nutné provzdušňovat.

### **"Capillary Action" metoda**

Při této technice bez cirkulace se používají květináče s dírami ve dně, vyplněné inertním médiem, do kterého se nasazují semenáčky nebo semínka. Tyto květináčky jsou umístěny v mělké nádobě naplněné živným roztokem, který vzhlíná k inertnímu médiu. Tato technika je vhodná k pěstování okrasných a pokojových rostlin.

## **B) Agregátní (sdružený) systém**

Tento systém využívá pevného média z materiálu, který nesmí obsahovat toxické substance, škůdce a mikroorganismy způsobující různé choroby. Materiál navíc musí mít kapacitu pro zadržení vody a vzduchu a před použitím musí být sterilován. Agregátní systém může být otevřený nebo uzavřený.

### **"Hanging bag" metoda**

Při této hydroponické metodě se používá válcovitý polyethylenový bílý vak naplněný sterilizovanými kokosovými vlákny. Tento vak je ve spodní části uzavřený a vrchní částí

pověšen za PVC trubičku. Sazenice vypěstované předem v květináčích jsou vtlačeny do děr ve stěnách vaku. Živný roztok je čerpán do rozstřikovače, který je připevněn v horní části vaku. Rozprašovač distribuuje roztok uvnitř vaku, čímž namáčí pevný substrát a kořeny rostlin. Zbylý roztok vytéká dírami na dně vaku a je sbírán v kanálku, který ho odvádí do nádržky. Tento systém je vhodný pro listovou zeleninu, jahody a malé kvetoucí rostliny.

### **"Grow bag" metoda**

Polyethylenové vaky dlouhé 1-1,5 metru naplněné sterilizovaným prachem z kokosových vláken jsou položeny na zemi v řadách. Ve vaku jsou vytvořené díry, kterými se protáhnou sazeničky předem vypěstované v květináčích. Na každé straně vaku jsou vytvořeny dvě malé štěrby pro odtok přebytečného živného roztoku. Hnojení se provádí pomocí trubičky, která vede ze zásobníku ke každé rostlince.

### **"Trench or trough" metoda**

V tomto otevřeném systému jsou rostliny pěstovány v úzkých korýtkách, která jsou na zemi nebo v několika řadách na konstrukci. Jako pevný substrát se používá kokosové vlákno, vermikulit, perlit nebo písek. Živný roztok je k rostlinám přiváděn kapkovou závlahou nebo manuální aplikací. Ve spodu korýtky může být umístěna perforovaná trubice, která odvádí přebytečný roztok.

### **"Pot" metoda**

"Pot technique" je metoda, při které se plastové květináče naplní růstovým médiem, které slouží jako zdroj živného roztoku a podpora rostlině. Do květináčů s rostlinami se potom trubičkami přivádí živný roztok (Hussain a kol., 2014). Všechny typy hydroponických systémů popsaných výše jsou zobrazeny v Příloze 3.

## **3.3.2. Substráty**

Jak již bylo zmíněno, některé hydroponické techniky používají pevný substrát, médium, které slouží k ukotvení kořenů a zadržování živného roztoku (Maucieri a kol., 2017 podle Enzo a kol., 2001). Jako pevné substráty se používají různé typy netoxických porézních materiálů (Savvas, 2003). Nejdůležitější požadavek na tyto materiály je udržení dostatečného množství vody a vzduchu a zajištění tak optimálních podmínek pro kořeny a tudíž růst rostlin (Maucieri a kol., 2017 podle Hardgrave, 1995). Nejlepší substrát je takový, který je schopen zadržet téměř stejné množství vody a vzduchu (Hussain a kol., 2014). Další



vlastnosti, kterými by měl substrát disponovat, jsou přiměřené mechanické vlastnosti zaručující stabilitu rostlin, nízká objemová hustota a vysoká porosita (50-85 %), pH mezi 5-6,5, nízký obsah rozpuštěných solí, schopnost udržet počáteční vlastnosti i během kultivace a absence patogenů a škůdců, nemusí však být nutně sterilní (Pardossi a kol., 2011 podle Yeager a kol., 2007). Objemová hustota a porosita některých typů hydroponických substrátů je ukázána v tabulce č. 3.

Tabulka č. 3: Objemová hustota a porosita vybraných druhů substrátů (Pardossi a kol., 2011).

| <b>Substrát</b>  | <b>Objemová hustota [kg·m<sup>3</sup>]</b> | <b>Celková porosita [% v/v]</b> |
|------------------|--|---------------------------------|
| Vermikulit       | 90-150                                     | 90-95                           |
| Perlit           | 80-120                                     | 85-90                           |
| Minerální vata   | 80-90                                      | 94-97                           |
| Expandovaný jíł  | 600-900                                    | 85-90                           |
| Pemza            | 650-900                                    | 65-75                           |
| Ideální substrát | 190-700                                    | 50-85                           |

Substráty se dají rozdělit na organické a anorganické. Organické materiály podléhají biologické degradaci a jsou více či méně chemicky aktivní díky přítomnosti iontových vazebných míst, která mohou adsorbovat nebo uvolňovat živiny. Naopak většina anorganických materiálů jsou inertní, tedy chemicky neaktivní (Savvas, 2003 podle Resh, 1997). Nicméně například zeolit nebo vermikulit také poskytují vazebná místa pro výměnu kationtů (Savvas, 2003 podle Mumpton, 1984).

Nejběžnější materiály používající se při hydroponickém pěstování jako substráty jsou minerální vata, perlit, vermikulit, pemza, štěrk nebo písek, polyuretanová pěna, zeolit, tepelně expandovaný jíł a různé vulkanické materiály. Z organických materiálů potom například kokosová vlákna (Savvas, 2003; Lommen, 2008). Minerální vata je inertní materiál, který neobsahuje žádné patogeny, jelikož je tepelně zpracován při teplotě 1600 °C. Jde o nejpoužívanější médium při hydroponickém pěstování s optimální hydraulickou vodivostí (Savvas, 2013 podle Blaabjerg, 1983). Při saturaci drží minerální vata okolo 15 % prostoru naplněného vzduchem (Gibeaut a kol., 1997). Další často používaný substrát je perlit. Perlit je amorfní vulkanické sklo. Chemicky jde o směs oxidu křemičitého s oxidem hlinitým, sodným, draselným, železitým, hořečnatým a vápenatým, 3-5 % potom tvoří chemicky vázaná voda. Perlit se používá ve formě granulí, které jsou velmi lehké a kromě hydroponického pěstování se dávají i jako přídavek do půdy pro zvýšení jejího provzdušnění a zadržování vody. Vermikulit je minerál, který ve své struktuře obsahuje draslík a hořčík.

Dokáže zadržet velké množství vody, a proto je též hojně využíván jako substrát při hydroponickém pěstování. Z organických substrátů se používají kokosová vlákna. Drcená a parou sterilizovaná kokosová vlákna poskytují rostlinám ideální kořenový substrát, který chrání proti kořenovým chorobám a houbám (Hussain a kol., 2014).

V této DP byly jako substráty použity jednak běžně používaná minerální vata, tedy anorganický substrát a jednak ovčí vlna jako organické médium, které by mohlo doplňovat chybějící dusík v roztoku. Ovčí vlna je totiž bohatým zdrojem živin důležitých pro růst rostlin. Obsahuje velké množství dusíku, síry a uhlíku (McNeil a kol., 2007), ale i vápník, draslík, hořčík a fosfor (Dannehl a kol., 2014). Zároveň je dnes ovčí vlna materiál, který nenachází využití v takové míře, jak tomu bývalo dříve a dá se považovat za odpadní produkt. Studie provedená Górecki a Górecki (2010) ukázala, že ovčí vlna přidaná jako doplněk do půdy, zvýšila výtěžky pěstovaných rostlin o 33 % a zároveň zvýšila obsah živin v půdním substrátu a listech. Ovčí vlna tedy může být environmentálně šetrným hnojivem. Při normálních podmínkách je však biodegradace ovčí vlny pomalý proces a předem neupravená vlna by tak nebyla vhodná pro krátkodobou kultivaci zeleniny. Vlna před zpracováním obsahuje tuky, různé nečistoty a výkaly. Právě přítomnost tuků zpomaluje mikrobiální dekompozici a způsobuje její hydrofobicitu, takže množství vody a živného roztoku, který by mohla nasáknout je menší (Górecki, R. a Górecki, M., 2010 podle Mazur a Malicki, 1993). Proto je před použitím třeba nechat vlnu namočenou ve vodě po dobu 14 dní, následně proprat v kohoutkové vodě a vysušit (Górecki, R. a Górecki, M., 2010).

### 3.3.3. Živné roztoky

Živný roztok pro hydroponický systém je vodný roztok obsahující především anorganické ionty z rozpuštěných solí esenciálních prvků, eventuálně některé organické sloučeniny jako například cheláty železa (Trejo-Téllez a Gómez-Merino, 2012 podle Steiner, 1968). Esenciální prvky mají důležitou fyziologickou roli a jejich absence brání kompletnímu životnímu cyklu rostlin (Trejo-Téllez a Gómez-Merino, 2012 podle Taiz a Zeiger, 2002). Podle Salisbury a Ross (1992) je za esenciální pro většinu rostlin považováno 17 prvků, kterými jsou uhlík, vodík, kyslík, dusík, fosfor, draslík, vápník, hořčík, síra, železo, měď, zinek, mangan, molybden, bor, chlor a nikl. Kromě uhlíku a kyslíku, které rostliny získávají z atmosféry, jsou esenciální prvky získávány rostlinou z živného roztoku. Ostatní prvky jako sodík, křemík, selen, vanad, kobalt, hliník nebo jód jsou považovány za prospěšné, protože některé z nich mohou stimulovat růst rostlin nebo částečně nahradit

některé esenciální prvky (Trejo-Téllez a Gómez-Merino, 2012 podle Tréjo-Téllez a kol., 2007).

### **Parametry živného roztoku – konduktivita, pH, teplota**

Obsah živin udává elektrickou konduktivitu (EC) a osmotický potenciál živného roztoku. Elektrická konduktivita tedy udává celkové množství solí v roztoku, proto je dobrým indikátorem množství dostupných iontů pro rostlinu (Nemali a van Iersel, 2004). Ionty určující elektrickou konduktivitu jsou  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{OH}^-$ . Mikronutrienty jako Fe, Cu, Zn, Mn, B, Mo nebo Ni zastoupené v malém množství nemají na EC velký vliv ve srovnání s makronutrienty. Ideální hodnota EC je specifická pro různé rostliny a závisí na environmentálních podmínkách (Trejo-Téllez a Gómez-Merino, 2012 podle Sonneveld a Voogt, 2009), nicméně v hydroponických systémech by se měla pohybovat v rozmezí  $1,5\text{--}2,5 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Vyšší hodnota brání příjmu živin v důsledku zvyšování osmotického tlaku, zatímco nižší hodnota může mít vážný vliv na zdraví rostliny a její výťažky (Samarakoon a kol., 2006). V tabulce č. 4 jsou ukázány prahové hodnoty EC u čtyř skupin plodin.

Dalším důležitým parametrem živného roztoku je pH, které ovlivňuje složení, speciaci a biodostupnost prvků přítomných v živném roztoku (De Rijck a Schrevens, 1998). Nejdůležitější vlastností živného roztoku je, že musí obsahovat prvky ve formě dostupné pro rostliny, s čímž souvisí regulace pH živného roztoku. Každý prvek totiž vykazuje odlišné odpovědi na změnu pH (Trejo-Téllez a Gómez-Merino, 2012 podle Marschner, 1995).

Důležitá je také teplota živného roztoku, která ovlivňuje příjem vody a živin rostlinami. Chladný roztok (tj.  $10^\circ\text{C}$ ) obvykle zvyšuje příjem  $\text{NO}_3^-$  a rozvoj kořenových vlásků, ale snižuje příjem vody (Calatayud a kol., 2008). Při vysoké teplotě se zase snižuje rozpustnost kyslíku v živném roztoku a zvyšuje se příjem vody a živin díky snížení viskozity roztoku (Falah a kol., 2010).

Tabulka č. 4: Tolerance jednotlivých plodin k salinitě (Trejo-Téllez a Gómez-Merino, 2012).

| <b>Tolerance k salinitě</b> | <b>Práh EC [<math>\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}</math>]</b> | <b>Plodiny</b>                              |
|-----------------------------|--|---|
| Citlivé                     | 1,4  | salát, mrkev, jahody, cibule                |
| Středně citlivé             | 3,0  | brokolice, zelí, rajčata, okurky, ředkvičky |
| Středně tolerantní          | 6,0  | sója  |
| Tolerantní                  | 10,0   | cukrová řepa                                |

### Složení živného roztoku

Živný roztok obsahuje obvykle šest esenciálních prvků: N, P, S, K, Ca, Mg. Příliš nízké koncentrace živin v roztoku nepokryjí minimální požadavek rostlin na živiny (Trejo-Téllez a Gómez-Merino, 2012). Naopak vysoké koncentrace živin v roztoku vedou k jejich nadměrnému příjmu, který může způsobovat toxické efekty na rostliny. Jsou však pozorovány i pozitivní efekty vysoké koncentrace živin, kdy navýšení koncentrace Hoaglandova roztoku na 200 % vedlo k dřívějšímu kvetení šalvěje, zvýšení váhy sušiny a zvětšení listové plochy oproti šalvěji pěstované v méně koncentrovaném roztoku (Kang a van Iersel, 2004). Ve většině případů se živné roztoky připravují z rozpustných anorganických solí, ale jsou používány i některé anorganické kyseliny, konkrétně kyselina dusičná, fosforečná a boritá (Savvas, 2003). Existuje několik typů živných roztoků, jejichž složení je rozepsáno v tabulce č. 5. Názvy živných roztoků jsou podle jejich autorů: Hoaglandův a Arnonův, Hewittův, Cooperův, Steinerův.

Tabulka č. 5: Složení různých typů živných roztoků (Trejo-Téllez a Gómez-Merino, 2012)

| Prvek | Hoagland & Arnon (1938) | Hewitt (1966) | Cooper (1979) | Steiner (1984) |
|-------|-------------------------|---------------|---------------|----------------|
|       | mg·L <sup>-1</sup>      |               |               |                |
| N     | 210                     | 168           | 200-236       | 168            |
| P     | 31                      | 41            | 60            | 31             |
| K     | 234                     | 156           | 300           | 273            |
| Ca    | 160                     | 160           | 170-185       | 180            |
| Mg    | 34                      | 36            | 50            | 48             |
| S     | 64                      | 48            | 68            | 336            |
| Fe    | 2,5                     | 2,8           | 12            | 2-4            |
| Cu    | 0,02                    | 0,064         | 0,1           | 0,02           |
| Zn    | 0,05                    | 0,065         | 0,1           | 0,11           |
| Mn    | 0,5                     | 0,54          | 2,0           | 0,62           |
| B     | 0,5                     | 0,54          | 0,3           | 0,44           |
| Mo    | 0,01                    | 0,04          | 0,2           | -              |

## 4. Experimentální část

### 4.1. Vzorky

Pro mou diplomovou práci jsem získala 34 různých vzorků worm tea z domácností, které provozují vermikompostování v malých domácích vermikompostérech. Ke shánění vzorků posloužila mapa vytvořená obecně prospěšnou společností KOKOZA, která sdružuje lidi provozující vermikompostování, zahradní a komunitní kompostování, zobrazuje místa, kde se vyskytují komunitní zahrady, tzv. zelené střechy nebo odběrná místa (web 1). Získané vzorky pocházely z různých typů vermikompostérů, které však fungují na stejném principu. Používány jsou vermikompostéry Urbalive, VermiHut nebo ručně vyráběné vermikompostéry z kyblíků a plastových krabic, které jsou zobrazeny na Obr. 1. Worm tea byl vždy z nádoby odpouštěn těsně před převzetím a následně skladován v mrazáku, aby nedocházelo ke změnám v průběhu skladování.



Obr. 1: Typy vermikompostérů.

Zleva – vermikompostér Urbalive, Plastia (<http://www.urbalive.cz/vermikomposter>), vermikompostér VermiHut (<https://www.ekonakup.cz/vermikompostery/vermikomposter-vermihut-4-patrovy-svetle-zeleny/>), ručně vyráběný vermikompostér z kyblíků (<http://www.primalex.cz/vymalovano/3-Vermikomposter>), ručně vyráběný vermikompostér z plastových krabic (foto Jan Čepila).

### 4.2. Chemikálie

Syntetický vzduch

Linde, Německo

Bezvodý hydrogenftalan draselný

Lach-Ner, ČR

Bezvodý uhličitán sodný

Lach-Ner, ČR

Bezvodý hydrogenuhličitán sodný

Lach-Ner, ČR

|  |              |
|--|--------------|
| Kyselina fosforečná 85%  | Lach-Ner, ČR |
| Tetrahydrát dusičnanu vápenatého   | Lach-Ner, ČR |
| Dusičnan draselný  | Chemapol, ČR |
| Dihydrogenfosforečnan draselný   | Lach-Ner, ČR |
| Heptahydrát síranu hořečnatého $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ | Lachema, ČR  |
| Kyselina boritá  | Lach-Ner, ČR |
| Tetrahydrát chloridu manganatého   | Lach-Ner, ČR |
| Heptahydrát síranu zinečnatého   | Lach-Ner, ČR |
| Pentahydrát síranu měďnatého   | Lachema, ČR  |
| Molybdenan sodný   | Lach-Ner, ČR |
| Chelatované železo   |              |
| Methansulfonová kyselina (MSA)   |              |

#### 4.3. Přístroje a materiál

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| Analytické váhy Extend  | Sartorius, Německo            |
| Analyzátor FORMACS <sup>HT</sup> TOC/TN                         | Skalar, Nizozemsko            |
| Filtrační papír hrubší pórovitosti                              |                               |
| Iontový chromatograf Dionex <sup>TM</sup> ICS-5000 <sup>+</sup> | Thermo Fisher Scientific, USA |
| Konduktometr HI 8733  | HANNA Instruments, USA        |
| Laboratorní nádobí  |                               |
| Míchačka magnetická Color Squid                                 | IKA®, Německo                 |
| Minerální vata  |                               |
| Ovčí vlna   |                               |
| Papírové filtry 5-10 $\mu\text{m}$                              | VWR, Německo                  |
| PET lahve   |                               |
| Petriho misky – průměr 9,4 cm                                   |                               |
| pH metr LAB 850   | Schott Instruments, Německo   |
| Pipeta automatická  | Eppendorf, Německo            |
| Pipeta krokovací elektronická                                   | Eppendorf, Německo            |
| Předvážky   | KERN, ČR                      |

|                                       |                               |
|---------------------------------------|-------------------------------|
| Scintilační lahvičky 20 mL            | Kartell S.p.A., Itálie        |
| Semena - hořčice bílá                 | OSEVA UNI a.s                 |
| Semena - salát listový Dubared        | SEMO a.s., ČR                 |
| Sterilizační filtr Chromafil® 0,20 µm | Macherey-Nagel, Německo       |
| Sušárna                               | Memmert GmbH + Co.KG, Německo |
| Termobox                              |                               |
| Vermikompostér Urbalive               | Plastia, ČR                   |

#### 4.4. Použité programy

Microsoft Office Excel 2013

Statistický software R verze 3.3.3, R Commander

Statistický software Statistica

#### 4.5. Ekotoxikologický test na semenech hořčice bílé

##### 4.5.1. Princip testu

Ekotoxikologické testy na semenech hořčice bílé byly prováděny za účelem optimalizace ředění worm tea před jeho použitím, ať už jako hnojiva nebo jako živného roztoku při hydroponickém pěstování. Hodnoty inhibice, které jsou výsledkem testu, byly následně využity k potvrzení nebo vyvrácení hypotézy, že hodnoty inhibice korelují s hodnotou elektrické vodivosti (konduktivity), která by tak mohla být jednoduše měřitelným parametrem pro optimální naředění worm tea. Spolu s ekotoxikologickými testy byla měřena konduktivita a pH.

Test probíhal podle metodiky vypracované Laboratoří ekotoxikologie a LCA, Ústavu chemie ochrany prostředí, VŠCHT v Praze. Tento test byl navržen pro stanovení toxického vlivu různých druhů vod na klíčivost semen a růst kořene rostliny hořčice bílé v počátečních stádiích vývoje. V této diplomové práci jsem test využila ke zjištění vlivu různých koncentrací worm tea na semena hořčice bílé (*Sinapis alba*).

Princip testu spočívá v porovnání délky kořínků hořčice bílé, kultivované 72 hodin v testovaném vzorku, s kořínky narostlými po 72 hodinách v kontrolním roztoku, v destilované vodě.

#### 4.5.2. Testovaný organismus

Testy probíhaly na semenech hořčice bílé, *Sinapis alba*. Použita byla semena společnosti OSEVA UNI, a.s. Hořčice bílá v testech představuje zástupce terestrických kulturních plodin a vyšších rostlin obecně. Je to jednoletá, časně jarní rostlina, která se řadí do čeledi *Brassicaceae*, brukvovité. Hořčice bílá má tenký vřetenovitý kořen a vzpřímenou, až 150cm vysokou lodyhu. Květy jsou oboupohlavné, uspořádané v květenstvích, plody potom tvoří šešule. Semeno dosahuje v průměru 1,5-4 mm, má kulovitý tvar a žlutou nebo bělavě žlutou barvu. Po vyklíčení vyrůstá jednoduchý kořen s hypokotylem. Hořčice bílá je olejina, pěstuje se tedy převážně pro semeno, které obsahuje až 32 % oleje.

#### 4.5.3. Podmínky testu

Podmínky pro test semichronické toxicity se semeny hořčice *Sinapis alba* jsou shrnuty v tabulce č. 6.

Tabulka č. 6: Podmínky ekotoxikologického testu.

|                                   |                                   |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Testovací organismus              | <i>Sinapis alba</i>               |
| Klíčivost semen                   | minimálně 90 %                    |
| Počet semen na Petriho misku      | 15                                |
| Objem testovaného vzorku/kontroly | 5 mL na 1 Petriho misku           |
| Opakování                         | 2                                 |
| Teplota                           | 20 ± 1°C                          |
| Osvětlení                         | bez přístupu světla               |
| Doba expozice                     | 72 hodin                          |
| Sledovaná odezva                  | elongace kořene                   |
| Chemikálie                        | vzorky worm tea, destilovaná voda |

#### 4.5.4. Pracovní postup

Nejprve byl proveden test klíčivosti zakoupených semen hořčice bílé, jelikož pro test je požadována minimální klíčivost 90 %. Celkem 50 semen bylo rozprostřeno na dvě vrstvy filtračního papíru napuštěného kohoutkovou vodou. Miska se semeny byla přiklopena víkem a semena se nechala klíčit ve tmě při 20°C 48 hodin. Následně bylo spočítáno procento vyklíčených semen a byla tak ověřena podmínka minimálně 90% klíčivosti.

Vzorky worm tea byly testovány v koncentracích 0; 2,5; 5; 7,5; 10 % (v/v). Tato koncentrační řada byla zvolena na základě bakalářské práce Komunitní vermikompostování

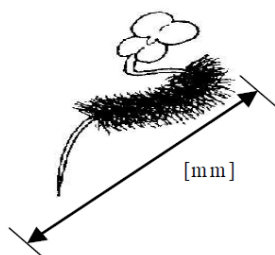


biologicky rozložitelného komunálního odpadu, kde byly vzorky testovány v koncentracích 10, 25, 50, 75, 90, 100 % (v/v), přičemž bylo zjištěno, že při všech těchto koncentracích docházelo k inhibici růstu kořenů hořčice bílé oproti kontrole (Klupalová, 2016). Proto byla v mé diplomové práci zvolena koncentrační řada do 10 % (v/v), aby byla zjištěna maximální koncentrace, při které ještě dochází ke stimulaci růstu kořenů *Sinapis alba*.

Tabulka č. 7: Ředění vzorků na požadované koncentrace.

| Koncentrace % (v/v) | Worm tea (mL) | Destilovaná voda (mL) |
|---------------------|---------------|-----------------------|
| Kontrola            | 0             | 50                    |
| 2,5                 | 1,25          | 48,75                 |
| 5,0                 | 2,5           | 47,5                  |
| 7,5                 | 3,75          | 46,25                 |
| 10,0                | 5             | 45                    |

Vzorky worm tea byly naředěny dle tabulky č. 7. Do 50mL kádinek byl vždy napipetován daný objem vzorku a destilované vody. V takto naředěných vzorcích a ve vzorcích koncentrovaných (nenaředěných) bylo změřeno pH a konduktivita. Do Petriho misek o průměru 9,4 cm byly vloženy vždy dvě vrstvy filtračního papíru tak, aby pokrývaly celou plochu Petriho misky. Následně bylo na filtrační papír napipetováno vždy 5 mL testovaného roztoku, přičemž u každého ředění a kontroly byly provedeny 2 opakování. Filtrační papíry byly rozbrážděny kopistkou tak, aby se semena hořčice lépe uchytila a do každé Petriho misky se rovnoměrně rozprostřelo 15 semen. Petriho misky se pak umístily do termoboxu s nastavenou teplotou 20 °C a bez přístupu světla na 72 hodin. Po 72 hodinách byla měřena délka kořene hořčice bílé s přesností na 1 mm klasickým školním pravítkem (viz obr. 2).



Obr. 2: Vyklíčené semeno s kořenem a hypokotylem.

Po změření délek všech kořínků se vypočítá aritmetický průměr délek kořenů z paralelních stanovení a z těchto průměrných délek v jednotlivých koncentracích a kontrole se vypočítá inhibice růstu kořene hořčice bílé. Výpočet spočívá v porovnání průměrné délky kořene v testované variantě s průměrnou délkou kořene v kontrole a provádí se podle následujícího vzorce (1).

$$Hi = \frac{d_{pk} - d_{pi}}{d_{pk}} \cdot 100 \% \quad (1)$$

$d_{pk}$  – průměrná délka kořene v kontrole

$d_{pi}$  – průměrná délka kořene ve variantě s testovaným vzorkem

Ekotoxikologické testy na semenech hořčice bílé byly poté se stejnými vzorky provedeny ještě jednou, všechny vzorky však byly naředěny na stejnou konduktivitu a to podle vzorku s nejnižší konduktivitou, která byla  $6,3 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ . Kádinka s koncentrovaným vzorkem se vložila na laboratorní míchačku s magnetickým míchadlem, postupně do ní byla přidávána pipetou deionizovaná voda a následně měřena konduktivita až bylo dosaženo hodnoty  $6,3 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ . Takto naředěné vzorky na stejnou konduktivitu byly dále ředěny opět podle tabulky č. 7.

## 4.6. Stanovení vybraných kationtů a aniontů

### 4.6.1. Princip

Stanovení kationtů a aniontů ve vzorcích worm tea probíhalo v laboratoři environmentální chemie a analýzy půd Ústavu pro životní prostředí Univerzity Karlovy. Vybrané kationty a anionty byly stanovovány pomocí iontové chromatografie. Iontová chromatografie funguje na principu adsorpce analytu na povrchu stacionární fáze, kterou je ionex. Kationtový ionex, katex, obsahuje na svém povrchu negativně nabitě skupiny a zachycuje tedy kladně nabitě kationty. Aniontový ionex, anex, obsahuje na svém povrchu pozitivně nabitě skupiny a adsorbuje tedy záporně nabitě anionty. Zachycené anionty nebo kationty jsou následně eluovány vhodnou mobilní fází, kdy jsou analyty zachycené na stacionární fázi vyměněny za ionty v mobilní fázi (Jackson, 2006).

Stanovení probíhalo na iontovém chromatografu Thermo Scientific<sup>TM</sup> Dionex<sup>TM</sup> ICS-5000<sup>+</sup> s vodivostním detektorem (Příloha 4). Pro potlačení vodivosti mobilní fáze je mezi chromatografickou kolonou a vodivostním detektorem umístěn supresor Dionex Cation Self-Regenerating Suppressor (Dionex CERS 500 2 mm) při měření kationtů nebo

Dionex Anion Self-Regenerating Suppressor (Dionex AERS 500 4 mm) při měření aniontů. Z kationtů byl stanovován obsah  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ , z aniontů potom obsah  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_2^-$ . Separace kationtů probíhala na koloně Dionex IonPac™ CS16, separace aniontů na koloně Dionex IonPac™ AS9-HC. Před analytickou kolonou byla umístěna předkolona, která má za cíl zachytávat nečistoty, které by se mohly dostat do analytické kolony. Mobilní fázi pro eluci kationtů byla 30mM methansulfonová kyselina (MSA). Mobilní fázi pro anionty pak 9mM  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Chromatografické podmínky jsou shrnuty v tabulce č. 8.

Tabulka č. 8: Chromatografické podmínky.

| <i><b>Parametr</b></i>          | <i><b>Kationty</b></i> | <i><b>Anionty</b></i>        |
|---------------------------------|------------------------|------------------------------|
| Mobilní fáze                    | 30mM MSA               | 9mM $\text{Na}_2\text{CO}_3$ |
| Průtoková rychlost mobilní fáze | 0,36 mL/min            | 1,0 mL/min                   |
| Teplota                         | 40°C                   | 20°C                         |
| Detekce                         | Vodivostní             | Vodivostní                   |
| Supresor                        | Dionex CERS 500 2 mm   | Dionex AERS 500 4 mm         |
| Vložený proud                   | 32 mA                  | 45 mA                        |
| Objem vstříkovaného vzorku      | 25 $\mu\text{L}$       | 50 $\mu\text{L}$             |

#### 4.6.2. Pracovní postup

Vzorky worm tea, které byly uchovávány v mrazáku byly nejprve přefiltrovány přes sterilizační filtry o velikosti pórů 0,20  $\mu\text{m}$ . Přefiltrované vzorky se poté naředily deionizovanou vodou v poměru 1:4. Do vialek bylo elektronickou pipetou napipetováno 360  $\mu\text{L}$  vzorku a 1440  $\mu\text{L}$  deionizované vody. Vialky byly uzavřeny víčkem se septem a vloženy do chromatografu. Jako blank byla použita deionizovaná voda, která byla také přefiltrována přes sterilizační filtr o velikosti pórů 0,20  $\mu\text{m}$ . V takto naředěných vzorcích byly proměřeny koncentrace kationtů. Jelikož koncentrace  $\text{K}^+$  a  $\text{Na}^+$  byly příliš vysoké, bylo zvoleno větší ředění. Automatickou pipetou se do vialek napipetovalo 100  $\mu\text{L}$  vzorku naředěného 1:4 a elektronickou pipetou bylo napipetováno 1800  $\mu\text{L}$  deionizované vody. V takto naředěných vzorcích byly proměřeny také anionty.

K určení detekčního limitu metody (MDL) byl vybrán jeden vzorek worm tea, který byl přefiltrován přes sterilizační filtr a do vialky bylo napipetováno 1000  $\mu\text{L}$  vzorku a 7 mL deionizované vody. Ve vzorku se následně 7x proměřil každý kationt a aniont a ze směrodatných odchylek ze 7 měření se vypočítal MDL pro každý kationt a aniont podle následujícího vzorce (2).

$$\text{MDL} = s_r (7 \text{ měření}) \cdot 3,143 \quad (2)$$

$s_r$  – směrodatná odchylka

3,143 – t hodnota pro 6 st. volnosti  $1-\alpha=0,99$

## 4.7. Stanovení TOC

### 4.7.1. Princip

Celkový organický uhlík ve vzorcích worm tea byl stanovován na analyzátoru FORMACS<sup>HT</sup> TOC/TN. Přístroj funguje na principu změření množství celkového uhlíku (TC) a následném změření množství anorganického uhlíku (IC). Odečtením hodnot anorganického uhlíku od celkového uhlíku se potom získají koncentrace celkového organického uhlíku (TOC). Pro změření TC je vzorek nastříknut pomocí integrovaného dávkovače do vysokoteplotního kobaltového reaktoru. Zde je veškerý organický a anorganický uhlík oxidován při teplotě 950°C na plynný oxid uhličitý, který je proudem vzduchu unášen do infračerveného detektoru, který měří množství  $\text{CO}_2$  při vlnové délce 4,2  $\mu\text{m}$ . IC je měřen při druhém nástřiku vzorku do nízkoteplotního kapalinového reaktoru. Zde je v kyselém prostředí při laboratorní teplotě veškerý anorganický uhlík převeden na plynný  $\text{CO}_2$ . Proud vzduchu potom  $\text{CO}_2$  transportuje opět do IR detektoru, kde je změřeno jeho množství.

### 4.7.2. Pracovní postup

Nejprve byla provedena kalibrace přístroje. Standard pro TC 1000 mg C/l byl připraven rozpuštěním 0,53135 g bezvodého hydrogenftalanu draselného v deionizované vodě a roztok byl doplněn deionizovanou vodou na 250 mL. Standard pro IC 1000 mg C/l byl připraven rozpuštěním 1,10305 g bezvodého uhličitanu sodného a 0,87425 g bezvodého hydrogenuhlíčitanu sodného. Kalibrační řada byla 0; 25; 50; 75; 100 mg/l.

Tabulka č. 9: Kalibrační řada.

| Koncentrace standardu<br>(mg/l) | Objem standardu<br>( $\mu$ l) | Objem deionizované vody<br>(mL) |
|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| 0                               | 0                             | 7                               |
| 25                              | 179                           | 7                               |
| 50                              | 368                           | 7                               |
| 75                              | 568                           | 7                               |
| 100                             | 778                           | 7                               |

Vzorky worm tea byly přefiltrovány přes papírové filtry s velikostí pórů 5-10  $\mu$ m. Filtrační papír byl složen do skleněné nálevky, která byla vložena do polyethylenových lahvíček. U vzorků worm tea byly předpokládány vysoké koncentrace celkového organického uhlíku, proto byly vzorky naředěny deionizovanou vodou 102krát. Ředění 102krát bylo zvoleno, aby se minimalizovaly chyby vnášené do měření při pipetování, které by mohly vzniknout při 100násobném ředění. Do skleněných vialek bylo napipetováno 3,5 mL deionizované vody, 70  $\mu$ L vzorku a opět 3,5 mL deionizované vody. Dávkováním v tomto pořadí se vzorek promíchal. Vialky s naředěnými vzorky byly následně naskládány do karuselu dávkovače tak, že první byla vložena vialka s pitnou vodou, následovaly standardy TC a IC o koncentraci 50  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  a poté vzorky, přičemž každý vzorek byl měřen ve dvou opakováních. Po 6 vzorcích byly vždy vloženy standardy TC a IC o koncentraci 50  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . Na konci byly vloženy dvě vialky s deionizovanou vodou, která sloužila jako blank. Obsah TOC ve vzorcích byl měřen na dvakrát po 18 vzorcích, jelikož doba měření je dlouhá a mohlo by tak dojít ke změnám ve vzorcích než dojde k jejich proměření. Analyzátor FORMACS<sup>HT</sup> TOC/TN, na kterém byla měření prováděna je zobrazen v Příloze 4.

## 4.8. Hydroponické pěstování salátu setého

### 4.8.1. Princip

Vzhledem k tomu, že ve worm tea se vyskytují ionty v dostupné formě, byla stanovena hypotéza, že worm tea může alespoň částečně nahradit živný roztok při hydroponickém pěstování. Saláty byly pěstovány v hydroponickém systému vytvořeném z 0,5L PET lahví. Hydroponický systém vytvořený z PET lahví použil pro pěstování salátu například Kratky (2009), systém použitý při této diplomové práci byl však lehce modifikován. Lahve byly přestřiženy napůl, z horní části s hrdlem bylo odstraněno víčko a tato část byla zasazena do spodní části lahve hrdlem dolů. Spodní část potom sloužila jako

nádoba pro živný roztok a do horní části se substrátem byla nasazena sazenice salátu, přičemž její kořeny byly hrdlem lahve prostrčeny do živného roztoku, jak je ukázáno na Obr. 3.



Obr. 3: Hydroponický systém vytvořený z PET lahví.

Z hlediska zařazení můžeme tento hydroponický systém klasifikovat jako kultivační systém s médiem, tedy agregátní (sdružený) systém. Je to systém otevřený, živný roztok tedy necirkuluje a po určité době je vyměněn za nový. Z typů hydroponických systémů popsaných v kapitole 3.3.1., je náš systém vytvořený z PET lahví nejbližší technice “root dipping“. Hydroponický systém vytvořený z PET lahví má několik výhod, které popsali Kratky (2009) a Gashgari a kol. (2018). Je to levná metoda, která navíc podporuje znovuvyužití plastového materiálu a po přesazení rostlin do systému nejsou až do sklizně, kromě výměny roztoku, vyžadovány žádné další práce. Zároveň není potřeba elektřina, čerpadla a aerátory, které jsou nutnou součástí běžných hydroponických systémů a celé pěstování se tak prodraží ve srovnání s námi použitou metodou. V mé diplomové práci jsem při pěstování salátu setého ve worm tea použila právě tuto metodu, jelikož worm tea, které bylo testováno, vzniká při vermikompostování v domácnostech a právě v těch by také bylo využito při hydroponickém pěstování. Proto byly vyloučeny metody vyžadující různé speciální zařízení jako čerpadla, pumpy nebo speciální nádoby na hydroponie.

Jako substrát byla použita jednak běžně používaná minerální vata, tedy anorganický substrát a jednak ovčí vlna jako organické médium, které by mohlo doplňovat chybějící dusík v roztoku. Ovčí vlna byla před použitím upravena dle metodiky Górecki, R. a Górecki, M. (2010).

Rostliny salátu byl pěstovány v 10% (v/v) roztoku worm tea, v Hoaglandově roztoku, který se běžně používá jako živný roztok při hydroponickém pěstování a ve vodě jako kontrola. Použitý worm tea byl směsí čtyř různých vzorků (1,2,5,6), které nevykazovaly

abnormální pH ve srovnání s ostatními vzorky a při ředění 10 % (v/v) nevykazovaly inhibiční účinky na délku kořínků hořčice bílé (ekotoxikologický test). Ředění 10 % bylo zvoleno na základě studie Quaik a kol. (2012), kteří použili 10% roztok worm tea při hydroponickém pěstování Rýmovníku citronového. Ředění 1:9 při použití worm tea jako hnojiva doporučuje také Hanč a Plíva (2013). Parametry směsného vzorku worm tea použitého při hydroponickém pěstování jsou shrnuty v tabulce č. 10. Množství jednotlivých komponentů pro přípravu zásobních roztoků makronutrientů a mikronutrientů a následnou přípravu 0,5M Hoaglandova roztoku jsou uvedeny v tabulce č. 11 a 12 (Hoagland a Arnon, 1938). Místo EDTA, která do roztoku patří, byl použit zakoupený roztok chelatovaného železa, které bylo přidáno podle ředění doporučeného v návodu.

Tabulka č. 10: Parametry směsného vzorku (vz 1,2,5,6) použitého při hydroponickém pěstování při ředění 10 % (v/v) a obsah kationtů a aniontů ve směsném vzorku.

|                     | <i>Konduktivita<br/>[mS·cm<sup>-1</sup>]</i> | <i>pH</i>                         | <i>Inhibice<br/>[%]</i> |                        |                        |                       |                                   |                                    |                                    |                                   |
|---------------------|--|-----------------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Směsný<br>(1,2,5,6) | 0,9  | 8,11                              | -18,19                  |                        |                        |                       |                                   |                                    |                                    |                                   |
|                     | <i>Obsah kationtů a aniontů [ppm]</i>        |                                   |                         |                        |                        |                       |                                   |                                    |                                    |                                   |
|                     | <i>Na<sup>+</sup></i>                        | <i>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></i> | <i>K<sup>+</sup></i>    | <i>Mg<sup>2+</sup></i> | <i>Ca<sup>2+</sup></i> | <i>Cl<sup>-</sup></i> | <i>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></i> | <i>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></i> | <i>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></i> | <i>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></i> |
| Směsný<br>(1,2,5,6) | 190,7  | 109,1                             | 2711,5                  | 45,0                   | 86,1                   | 604,6                 | 118,8                             | 188,2                              | 105,8                              | n.a.                              |

Tabulka č. 11: Příprava zásobních roztoků mikronutrientů a makronutrientů.

| <b><i>Makronutrienty</i></b>                         | <b><i>Množství [g·L<sup>-1</sup>]</i></b> |
|--|---|
| Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O | 118,08                                    |
| KNO <sub>3</sub>                                     | 101,11                                    |
| KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>                      | 136,09                                    |
| MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O                 | 123,24                                    |
| <b><i>Mikronutrienty</i></b>                         |   |
| H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>                       | 2,86                                      |
| MnCl <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O                 | 1,81                                      |
| ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O                 | 0,22                                      |
| CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O                 | 0,08                                      |
| Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub>                     | 0,126                                     |
| Chelatované železo                                   | Zakoupeno                                 |

Tabulka č. 12: Příprava Hoaglandova roztoku.

| <b><i>Zásobní roztok</i></b>                         | <b><i>Množství [ml·L<sup>-1</sup>]</i></b> |
|--|--|
| Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O | 5  |
| KNO <sub>3</sub>                                     | 2,5  |
| KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>                      | 0,5  |
| MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O                 | 2  |
| H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>                       | 1  |
| MnCl <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O                 | 1  |
| ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O                 | 1  |
| CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O                 | 1  |
| Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub>                     | 1  |
| Chelatované železo                                   | 0,75                                       |

#### 4.8.2. Testovaný organismus

K hydroponickému pěstování byl použit Salát setý listový Dubared, *Lactuca sativa* L. var. *capitata* L. Semena byla od společnosti SEMO, a.s. *Lactuca sativa* L. je vyšší dvouděložná rostlina patřící do řádu hvězdnicotvaré (*Asterales*) a čeledi hvězdnicovité (*Asteraceae*). Salát listový Dubared je poloraná odrůda vhodná k polnímu pěstování pro jarní, letní a podzimní sklizně. Má polovzpřímené, tenké, zeleno-červené listy s hluboce laločnatou čepelí a silně zvlněným okrajem. Tato odrůda je určena k řezu, netvoří hlávkou a



je odolná proti vybíhání do květu. Salát je při hydroponickém pěstování hojně využíván různými autory (Lee a kol., 2006; SMOLEŇ a kol., 2014; Manzocco a kol., 2011 ), je nenáročný na pěstování a doba kultivace listových salátů trvá okolo 6-7 týdnů od zasetí.

#### 4.8.3. Pracovní postup

Pokus probíhal ve skleníku firmy Dekonta a.s. Saláty byly pěstované v různých variantách živného roztoku a substrátu. Jednotlivé varianty jsou shrnuty v Tabulce č. 13. Sazenice salátu byly vypěstovány v půdním substrátu a po 4 týdnech přesazeny do živného roztoku. Celkem 50 sazenic bylo rozděleno do 5 skupin po 10 rostlinách tak, aby celková hmotnost rostlin v každé variantě byla přibližně stejná. Rostliny byly vyjmuty z půdy a kořeny byly několikrát proprány v čisté vodě tak, aby na nich nezůstaly zbytky zeminy. Celé rostliny byly poté zváženy na předvážkách. Začátek kořene byl obalen do 3 g minerální vaty nebo ovčí vlny, které byly před použitím namočený ve 100 mL demineralizované vody po dobu 30 min. Poté byla voda vymačkána tak, aby vata i vlna zůstaly pouze vlhké. Ovčí vlna byla navíc předupravena tak, že byla 14 dní namočená ve vodě, poté několikrát přeprána v čisté vodě a následně vysušena (Górecki, S. a Górecky, M., 2010). Rostliny byly vloženy do horní části PET lahve a kořeny volně spuštěny hrdlem do živného roztoku, který byl ve spodní části PET lahve. Pokus začal 29.8.2017 a byl ukončen 18.9.2017. Do spodní části hydroponického systému bylo nalito 100 mL worm tea/Hoaglandova roztoku/demineralizované vody a hladina byla označena ryskou. Po dobu jednoho týdne byly roztoky doplňovány po rysku pouze demineralizovanou vodou a po týdně byl živný roztok vyměněn za čerstvý. Takto byly roztoky vyměněny ještě jednou po dalším týdně a po 3 týdnech byl pokus ukončen. Po ukončení pokusu byly rostliny salátu vyjmuty ze substrátu tak, aby v kořenech nezůstaly žádné zbytky minerální vaty nebo ovčí vlny. Následně byly zváženy celé rostliny, nadzemní části a kořeny. Kořeny a nadzemní části byly pak v sušárně vysušeny do konstantní hmotnosti při 105°C a opět zváženy.

Tabulka č. 13: Varianty testované v hydroponickém systému.

| <i><b>Varianta</b></i> | <i><b>Živný roztok + substrát</b></i>  |
|------------------------|--|
| A – kontrola           | Demineralizovaná voda + minerální vata |
| B                      | Worm tea + ovčí vlna                   |
| C                      | Worm tea + minerální vata              |
| D                      | Hoaglandův roztok + ovčí vlna          |
| E                      | Hoaglandův roztok + minerální vata     |

#### 4.9. Vermikompostování jako prostředek pro komunitní zpracování bioodpadů

Jedním z cílů této DP bylo zjistit, zda může být vermikompostování vhodnou metodou pro zpracování bioodpadů v rámci komunit, tzn. škol, bytových domů atp. Vermikompostér Urbalive s násadou kalifornských žížal byl umístěn na chodbu Ústavu pro životní prostředí po dobu 1 roku spolu s návodem, jak se vermikompostér využívá a co do něho patří. Po tuto dobu byl průběžně kontrolován stav vermikompostéru. Provoz vermikompostéru ve škole zároveň posloužil k získání 1 vzorku worm tea.

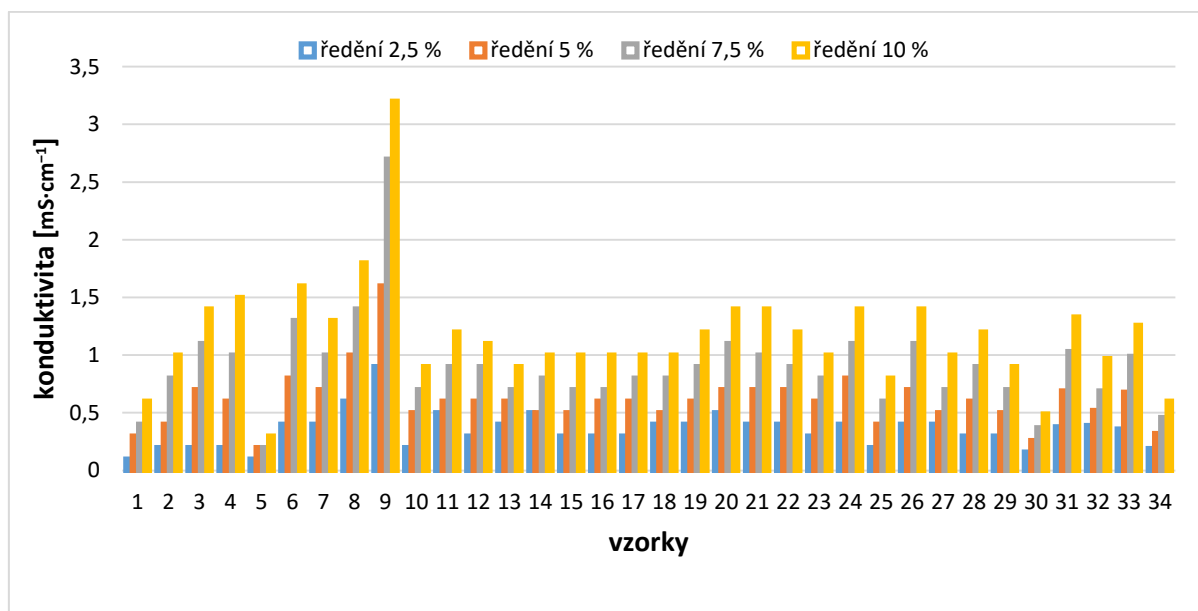
## 5. Výsledky

### 5.1. Charakterizace worm tea

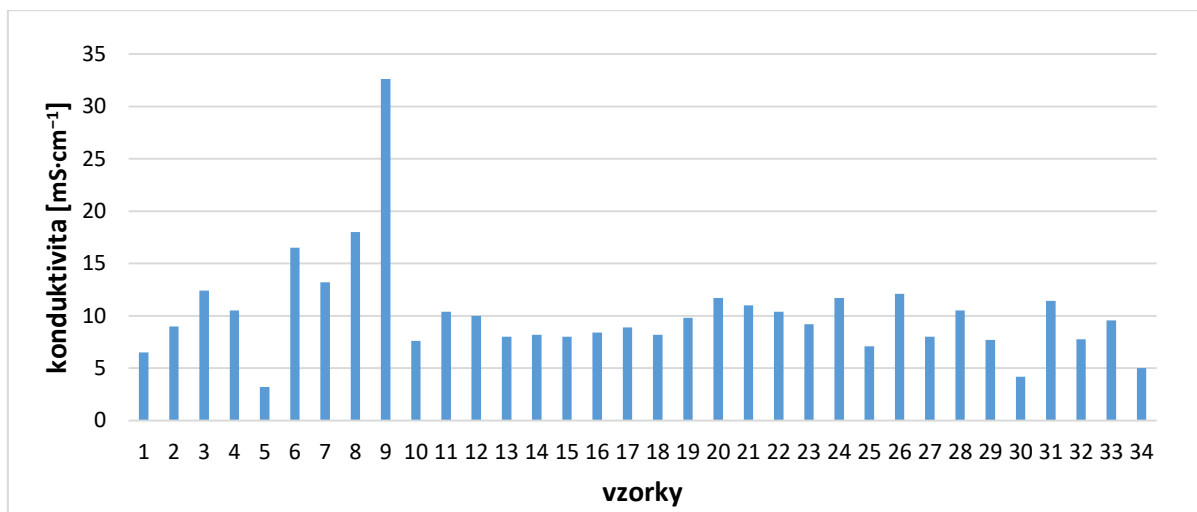
#### 5.1.1. Konduktivita a pH

Hodnoty konduktivity ve vzorcích naředěných na 2,5; 5; 7,5 a 10 % (v/v) jsou zobrazeny na Obr. 4. Konduktivita u vzorků naředěných na 2,5 % (v/v) se pohybovala v rozmezí 0,1-0,9  $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$  s průměrnou hodnotou 0,3  $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ , u vzorků naředěných na 5 % (v/v) v rozmezí 0,2-1,6  $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$  s průměrnou hodnotou 0,6  $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ , u vzorků naředěných na 7,5 % (v/v) v rozmezí 0,2-2,7  $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$  s průměrem 0,9  $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$  a u vzorků naředěných na 10 % (v/v) potom v rozmezí 0,3-3,2  $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$  s průměrnou hodnotou 1,2  $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Hodnoty konduktivity v koncentrovaných (nenaředěných) vzorcích jsou zobrazeny na Obr. 5. Zde se konduktivita pohybovala v rozmezí 3,2-32,6  $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$  s průměrnou hodnotou 10,2  $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

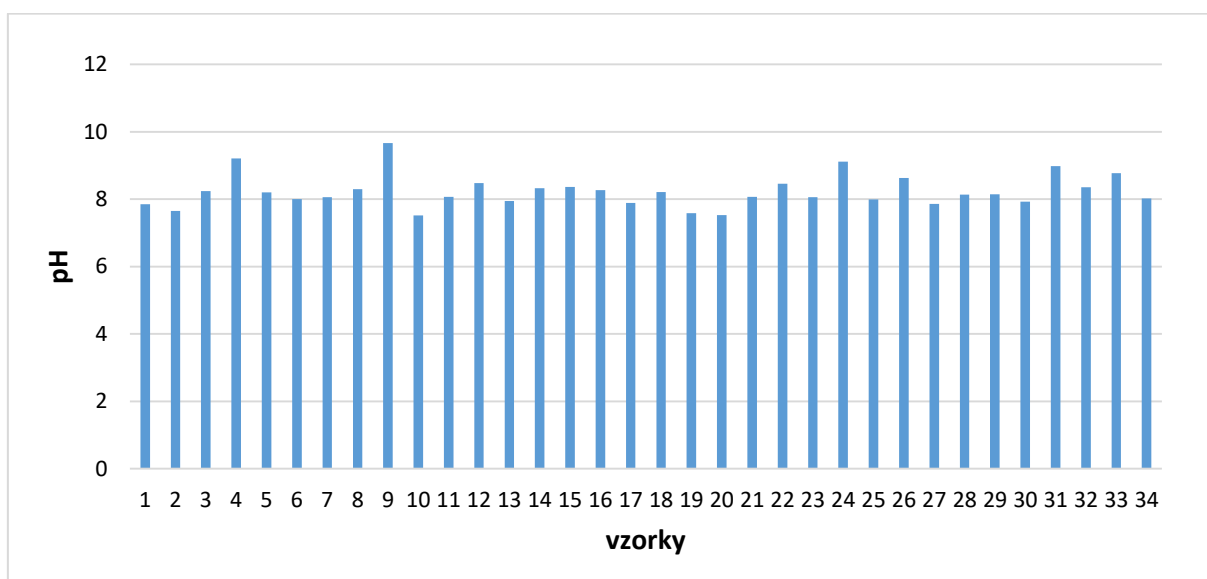
Na Obr. 6 jsou zobrazeny hodnoty pH nenaředěných vzorků. Hodnota pH se pohybovala v rozmezí 7,52-9,66 s průměrnou hodnotou 8,23. Hodnota pH byla měřena i ve vzorcích naředěných, zde však ředění vzorků pH neovlivnilo a zůstávalo ve stejném rozmezí jako u vzorků nenaředěných.



Obr. 4: Hodnoty konduktivity [ $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ ] naměřené u 34 vzorků worm tea naředěných na 2,5; 5,0; 7,5 a 10,0 % (v/v).



Obr. 5: Hodnoty konduktivity [ $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ ] naměřené v koncentrovaných (nenařaděných) vzorcích worm tea.



Obr. 6: Hodnoty pH naměřené v koncentrovaných (nenařaděných) vzorcích worm tea.

### 5.1.2. Obsah kationtů a aniontů

Kalibrační parametry iontové chromatografie a detekční limity metody jsou shrnuty v tabulce č. 14 a 15. Obr. 7 ukazuje procentuální zastoupení měřených kationtů ve všech 34 vzorcích worm tea. Procentuální zastoupení jednotlivých kationtů ve vzorcích worm tea je různorodé, avšak napříč všemi analyzovanými vzorky dominuje draslík ( $\text{K}^+$ ) s průměrnou hodnotou  $87,87\% \pm 3,29$ . Hodnoty procentuálního obsahu draslíku se pohybovaly v rozmezí 81,71-93,10 %. Druhý nejvíce zastoupený prvek už se však mezi vzorky liší. Procentuální

obsah sodíku ( $\text{Na}^+$ ) se pohyboval v rozmezí 2,97-12,22 % s průměrem 6,29 %  $\pm$  2,33, procentuální obsah vápníku ( $\text{Ca}^{2+}$ ) v rozmezí 0,59-7,64 % s průměrem 2,64 %  $\pm$  1,57, procentuální zastoupení hořčíku ( $\text{Mg}^{2+}$ ) se pohybovalo v rozmezí 0,02-7,62 % s průměrem 2,09 %  $\pm$  1,42 a procentuální obsah amonných kationtů ( $\text{NH}_4^+$ ) byl potom od 0,02 do 7,18 % s průměrnou hodnotou 1,12 %  $\pm$  1,85. Obr. 8 zobrazuje procentuální obsah měřených kationtů bez draslíku, aby bylo lépe vidět zastoupení zbylých kationtů a rozdíl mezi nimi napříč vzorky.

Procentuální obsah aniontů ukazuje Obr. 9. I zde jsou velké rozdíly v zastoupení aniontů mezi jednotlivými vzorky. Procentuální obsah chloridů ( $\text{Cl}^-$ ) se pohybuje v rozmezí 17,42-94,77 % s průměrnou hodnotou 59,57 %  $\pm$  16,87, procentuální obsah síranů ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) se pohybuje od 3,40 % do 46,80 % s průměrem 17,09 %  $\pm$  11,18, procentuální zastoupení fosforečnanů ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) se pohybuje v rozmezí 0-46,52 % s průměrnou hodnotou 14,86 %  $\pm$  10,70, procentuální obsah dusičnanů ( $\text{NO}_3^-$ ) se pohybuje mezi 0,0 a 54,65 % s průměrnou hodnotou 8,08 %  $\pm$  14,39, obsah dusitanů ( $\text{NO}_2^-$ ) se potom pohybuje v rozmezí 0,0 – 6,44 % s průměrnou hodnotou 0,4 %  $\pm$  1,24. Koncentrace jednotlivých kationtů a aniontů v ppm ve všech 34 vzorcích worm tea jsou uvedeny v Příloze 16.

Tabulka č. 14: Retenční časy a kalibrační parametry metody (iontová chromatografie) při měření kationtů a aniontů.

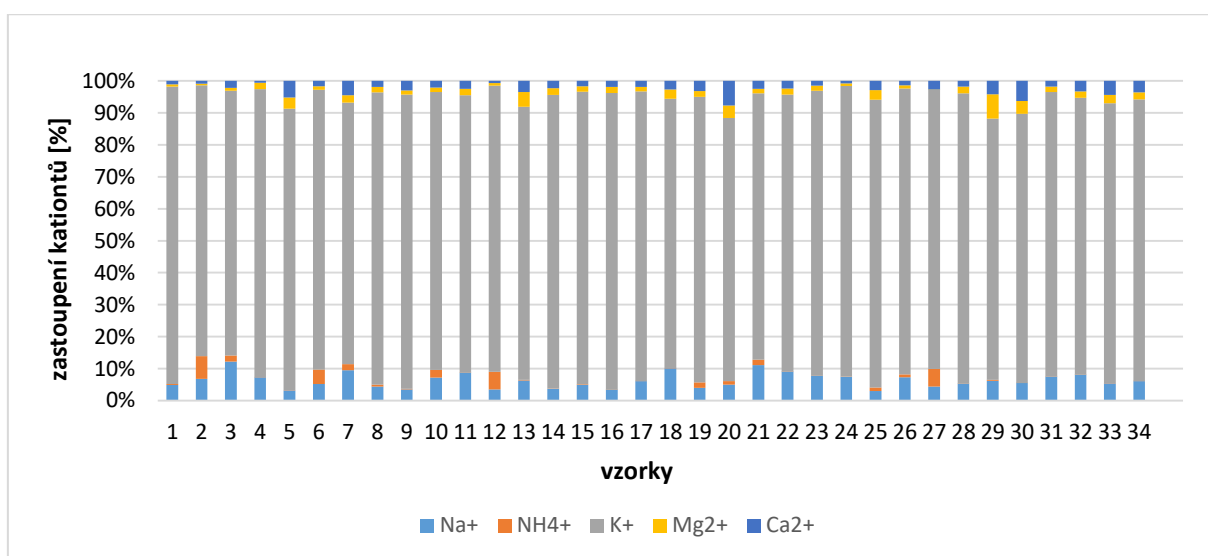
| <b>Kationt</b>     | <b>Retenční čas<br/>[min]</b> | <b>RSD [%]</b> | <b>R<sup>2</sup></b> |
|--------------------|-------------------------------|----------------|----------------------|
| $\text{Na}^+$      | 7,63                          | 1,79           | 0,999                |
| $\text{NH}_4^+$    | 9,45                          | 9,64           | 0,994                |
| $\text{K}^+$       | 13,65                         | 1,56           | 0,999                |
| $\text{Mg}^{2+}$   | 18,29                         | 0,62           | 0,999                |
| $\text{Ca}^{2+}$   | 26,72                         | 3,87           | 0,999                |
| <b>Aniont</b>      |                               |                |                      |
| $\text{Cl}^-$      | 6,37                          | 10,73          | 0,997                |
| $\text{NO}_2^-$    | 7,99                          | 3,61           | 0,999                |
| $\text{NO}_3^-$    | 12,24                         | 3,00           | 0,999                |
| $\text{PO}_4^{3-}$ | 15,91                         | 9,67           | 0,997                |
| $\text{SO}_4^{2-}$ | 17,58                         | 8,14           | 0,998                |

RSD – relativní směrodatná odchylka

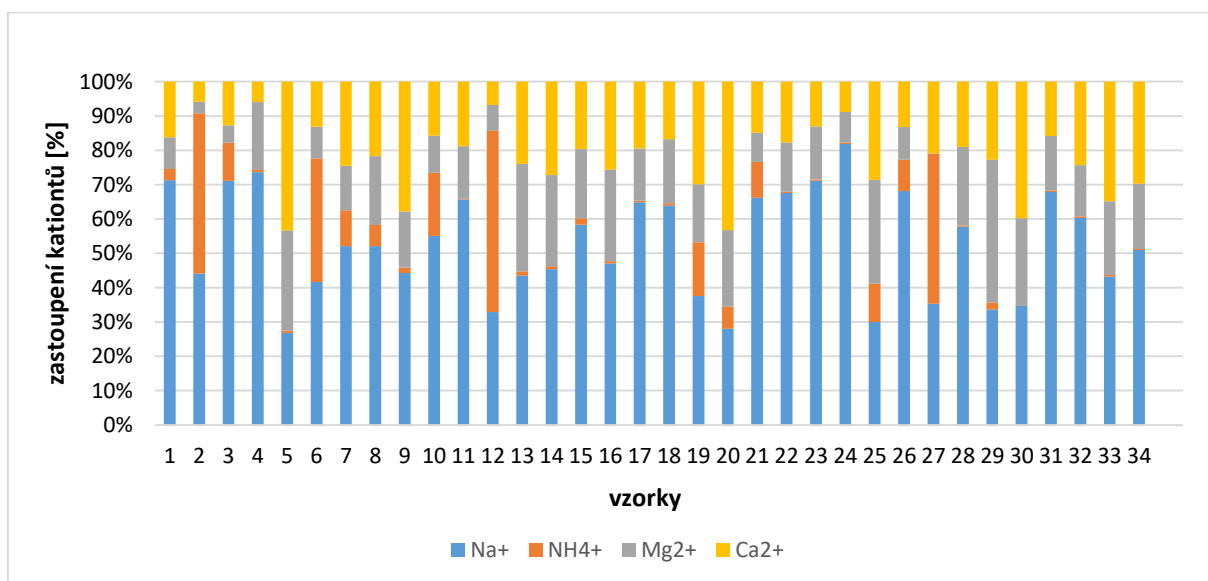
R<sup>2</sup> – koeficient determinace

Tabulka č. 15: Detekční limit metody (MDL) [mg·L]

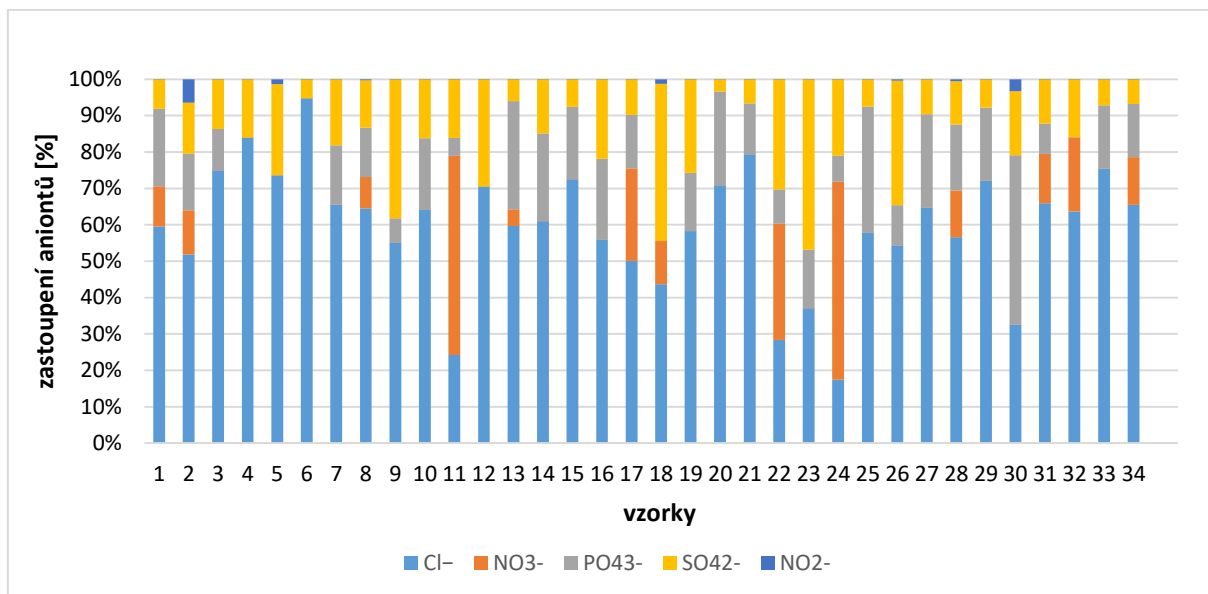
| Kationty                      | MDL [mg·L] |
|-------------------------------|------------|
| Na <sup>+</sup>               | 0,066      |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  | 0,068      |
| K <sup>+</sup>                | 0,834      |
| Mg <sup>2+</sup>              | 0,103      |
| Ca <sup>2+</sup>              | 0,086      |
| Anionty                       |            |
| Cl <sup>-</sup>               | 0,020      |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | 0,016      |
| PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | 0,039      |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 0,009      |



Obr. 7: Procentuální zastoupení kationtů Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> a Ca<sup>2+</sup> ve 34 vzorcích worm tea.



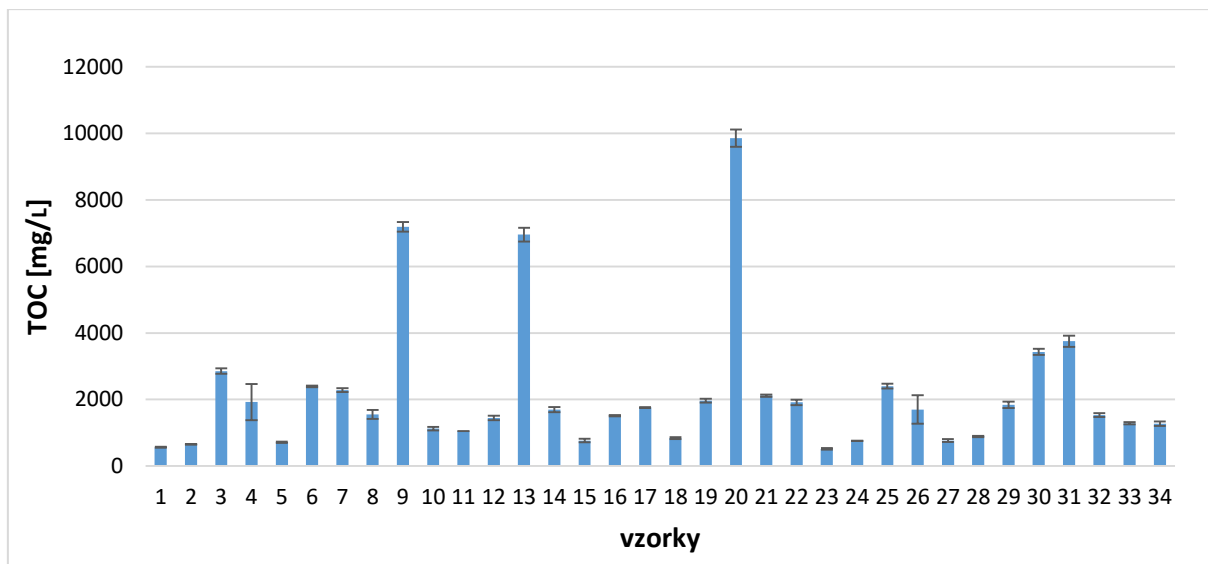
Obr. 8: Procentuální zastoupení kationtů Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> a Ca<sup>2+</sup> ve 34 vzorcích worm tea.



Obr. 9: Procentuální zastoupení aniontů  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{3-}$  a  $\text{NO}_2^-$  ve 34 vzorcích worm tea.

### 5.1.3. Obsah TOC

Obsah celkového organického uhlíku [ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ] se směrodatnými odchylkami (SD) ve 34 vzorcích worm tea je znázorněn na Obr. 10. Minimální obsah TOC byl  $515,1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  u vzorku č. 23, maximální obsah byl pak zaznamenán u vzorku č. 20 a to  $9854,73 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ .



Obr. 10: Obsah celkového organického uhlíku [ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ] a SD ve 34 vzorcích worm tea.

#### 5.1.4. Korelace mezi naměřenými parametry

Korelační test ( $p < 0,05$ ) ukázal různé závislosti naměřených parametrů, které by mohly být využity při popisu vlastností worm tea. Korelační koeficienty mezi jednotlivými parametry znázorňuje Tabulka č. 16-a,b.

Tabulka č. 16-a: Korelační koeficienty mezi jednotlivými parametry. Červeně označená čísla znamenají statisticky významné závislosti, kladné hodnoty pak znamenají přímou závislost, záporné hodnoty nepřímou závislost.

|                                    | <b>konduktivita</b> | <b>pH</b>   | <b>Na<sup>+</sup></b> | <b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b> | <b>K<sup>+</sup></b> | <b>Mg<sup>2+</sup></b> | <b>Ca<sup>2+</sup></b> | <b>TOC</b>  |
|------------------------------------|---------------------|-------------|-----------------------|-----------------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|-------------|
| <b>konduktivita</b>                | 1,0                 | <b>0,66</b> | <b>0,50</b>           | 0,1                               | <b>0,92</b>          | 0,18                   | <b>0,41</b>            | <b>0,43</b> |
| <b>pH</b>                          | <b>0,66</b>         | 1,0         | <b>0,37</b>           | -0,27                             | <b>0,60</b>          | 0,10                   | 0,05                   | 0,15        |
| <b>Na<sup>+</sup></b>              | <b>0,50</b>         | <b>0,37</b> | 1,0                   | 0,03                              | <b>0,49</b>          | 0,1                    | 0,22                   | 0,22        |
| <b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>  | 0,09                | -0,27       | 0,03                  | 1,0                               | 0,05                 | -0,31                  | -0,09                  | -0,04       |
| <b>K<sup>+</sup></b>               | <b>0,92</b>         | <b>0,59</b> | <b>0,49</b>           | 0,05                              | 1,0                  | 0,29                   | <b>0,50</b>            | <b>0,51</b> |
| <b>Mg<sup>2+</sup></b>             | 0,18                | 0,10        | 0,1                   | -0,31                             | 0,29                 | 1,0                    | <b>0,71</b>            | <b>0,65</b> |
| <b>Ca<sup>2+</sup></b>             | <b>0,41</b>         | 0,05        | 0,22                  | -0,09                             | <b>0,50</b>          | <b>0,71</b>            | 1,0                    | <b>0,81</b> |
| <b>Cl<sup>-</sup></b>              | <b>0,77</b>         | <b>0,51</b> | <b>0,78</b>           | 0,09                              | <b>0,78</b>          | 0,21                   | <b>0,41</b>            | <b>0,52</b> |
| <b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>  | 0,05                | 0,20        | 0,28                  | -0,23                             | 0,06                 | -0,1                   | -0,13                  | -0,18       |
| <b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b> | 0,03                | -0,15       | 0,11                  | -0,22                             | 0,14                 | <b>0,34</b>            | <b>0,46</b>            | <b>0,56</b> |
| <b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b> | <b>0,55</b>         | <b>0,53</b> | <b>0,38</b>           | -0,18                             | <b>0,46</b>          | -0,06                  | 0,07                   | 0,09        |
| <b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>  | -0,17               | -0,19       | -0,10                 | 0,32                              | -0,23                | -0,19                  | -0,17                  | -0,13       |
| <b>TOC</b>                         | <b>0,43</b>         | 0,15        | 0,22                  | -0,04                             | <b>0,51</b>          | <b>0,65</b>            | <b>0,81</b>            | 1,0         |



Tabulka č. 16-b: Korelační koeficienty mezi jednotlivými parametry. Červeně označená čísla znamenají statisticky významné závislosti, kladné hodnoty pak znamenají přímou závislost, záporné hodnoty nepřímou závislost.

|                                    | Cl <sup>-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> |
|------------------------------------|-----------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| <b>konduktivita</b>                | <b>0,76</b>     | 0,05                         | 0,03                          | <b>0,55</b>                   | -0,17                        |
| <b>pH</b>                          | <b>0,51</b>     | 0,20                         | -0,15                         | <b>0,55</b>                   | -0,19                        |
| <b>Na<sup>+</sup></b>              | <b>0,78</b>     | 0,28                         | 0,11                          | <b>0,38</b>                   | -0,10                        |
| <b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>  | 0,09            | -0,23                        | -0,22                         | -0,18                         | 0,32                         |
| <b>K<sup>+</sup></b>               | <b>0,78</b>     | 0,06                         | 0,14                          | <b>0,46</b>                   | -0,23                        |
| <b>Mg<sup>2+</sup></b>             | 0,21            | -0,09                        | <b>0,34</b>                   | -0,06                         | -0,19                        |
| <b>Ca<sup>2+</sup></b>             | <b>0,41</b>     | -0,13                        | <b>0,46</b>                   | 0,07                          | -0,17                        |
| <b>Cl<sup>-</sup></b>              | 1,0             | 0,0                          | 0,01                          | <b>0,42</b>                   | -0,19                        |
| <b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>  | 0,00            | 1,0                          | 0,08                          | <b>0,42</b>                   | -0,06                        |
| <b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b> | 0,01            | 0,08                         | 1,0                           | -0,03                         | 0,03                         |
| <b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b> | <b>0,42</b>     | <b>0,42</b>                  | -0,03                         | 1,0                           | 0,07                         |
| <b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>  | -0,18           | -0,06                        | 0,03                          | 0,07                          | 1,0                          |
| <b>TOC</b>                         | <b>0,52</b>     | -0,18                        | <b>0,55</b>                   | 0,09                          | -0,13                        |

## 5.2. Ekotoxikologický test na semenech hořčice bílé

Průměrné délky kořínků [cm] semen hořčice bílé po 72 hodinách kultivace v destilované vodě jako kontrole a vzorcích worm tea naředěných na 2,5; 5,0; 7,5; 10,0 % (v/v), které jsou výchozími hodnotami pro výpočet inhibice, jsou shrnuty v tabulce č. 17 v Příloze 15. Tabulka č. 18 potom shrnuje hodnoty relativní inhibice [%] klíčení semen a růstu kořenů hořčice bílé vztažené ke kontrole (destilované vodě). Relativní inhibice je spočítána pro všech 34 vzorků worm tea při koncentraci 2,5; 5,0; 7,5; a 10,0 % (v/v), záporné hodnoty inhibice znamenají stimulaci klíčení semen a růstu kořenů hořčice bílé. Hodnoty inhibice u všech ředění jsou též znázorněny graficky v Příloze 16, aby byl názorný rozdíl mezi vzorky.

Při koncentraci worm tea 10,0 % (v/v) mělo inhibiční vlastnosti na semínka hořčice bílé 32 % vzorků worm tea, u ředění na 7,5 % (v/v) mělo inhibiční vlastnosti 15 % vzorků worm tea, při ředění 5,0 % (v/v) inhibovalo semínka hořčice bílé jen 6 % vzorků a při koncentraci 2,5 % (v/v) měl pouze jeden vzorek z 34 inhibiční charakter, ostatní vzorky při tomto ředění vykazovaly stimulační vlastnosti na klíčení a růst kořínků semen hořčice bílé. Výsledné hodnoty inhibice, které byly vypočítány po ekotoxikologickém testu se vzorky worm tea naředěnými na stejnou konduktivitu 6,3 mS·cm<sup>-1</sup> a dále naředěnými na 2,5; 5,0; 7,5; 10,0 % (v/v), ukázaly, že při ředění 5,0 % a 7,5 %, vykazoval pouze jeden vzorek inhibiční charakter a ostatní vzorky měly stimulační vliv na semínka hořčice bílé.

Konduktivita při těchto ředěních se pohybovala mezi 0,36 a 0,67 mS·cm<sup>-1</sup>. Při ředění 2,5 % a 10 % mělo inhibiční vlastnosti 9, respektive 12 % vzorků. Průměrné délky kořínků [cm], průměrné hodnoty relativní inhibice [%] klíčení a růstu kořenů semen hořčice bílé, konduktivita [mS] a pH vzorků naředěných na stejnou konduktivitu 6,3 mS·cm<sup>-1</sup> jsou shrnuty v Příloze 15.

Dle korelačního testu na 5% hladině spolehlivosti hodnoty inhibice nekorelovaly s hodnotami konduktivity, čímž byla zamítnuta hypotéza, která byla v této DP stanovena, že inhibiční účinky worm tea korelují s obsahem iontů a tedy hodnotou elektrické vodivosti (konduktivity). Hodnoty inhibice při ředění 10,0 % (v/v) dle korelačních koeficientů (<0,05) nesouvisely ani s pH, obsahy kationtů, aniontů nebo TOC. Hypotézu nepotvrdily ani výsledky ekotoxikologických testů se vzorky naředěnými na stejnou konduktivitu 6,3 mS·cm<sup>-1</sup>.

Tabulka č. 18: Hodnoty relativní inhibice [%] se směrodatnou odchylkou (SD) v jednotlivých ředěních 2,5; 5,0; 7,5; 10 % (v/v). Záporné hodnoty inhibice znamenají stimulaci. Stimulační vliv je označen žlutou barvou, inhibiční vliv nebo nulová odezva ve srovnání s kontrolou modrou barvou.

| Číslo vzorku | Koncentrace % (v/v) |               |                |                |
|--------------|---------------------|---------------|----------------|----------------|
|              | 2,50 %              | 5 %           | 7,50 %         | 10 %           |
| 1            | -66,67 ± 47,1       | -61,11 ± 23,6 | -24,995 ± 27,5 | -22,22 ± 0,0   |
| 2            | -8,695 ± 6,1        | -28,26 ± 3,1  | 6,52 ± 9,2     | 0 ± 6,2        |
| 3            | -11,25 ± 1,8        | -5 ± 10,6     | 11,25 ± 1,8    | 30 ± 3,5       |
| 4            | -5,56 ± 7,9         | -16,67 ± 34,1 | 0 ± 20,9       | 11,11 ± 10,5   |
| 5            | -9,62 ± 13,6        | -7,69 ± 0,0   | -44,23 ± 8,2   | -25 ± 35,4     |
| 6            | -32,61 ± 40,0       | -39,13 ± 12,3 | -30,44 ± 24,6  | -26,09 ± 12,3  |
| 7            | -75 ± 70,7          | -62,5 ± 26,5  | -96,88 ± 13,3  | -53,13 ± 4,4   |
| 8            | -175 ± 70,71        | -216,67 ± 0,0 | -150 ± 35,4    | -141,67 ± 23,6 |
| 9            | -46,16 ± 16,3       | -32,7 ± 2,7   | -28,85 ± 19,0  | -3,85 ± 27,2   |
| 10           | -29,17 ± 29,5       | -20,84 ± 5,9  | -4,17 ± 23,6   | 14,59 ± 3,0    |
| 11           | 50,01 ± 13,3        | 51,56 ± 2,2   | 53,13 ± 4,4    | 54,69 ± 2,2    |
| 12           | -64,29 ± 3,4        | -57,15 ± 26,9 | -61,91 ± 20,2  | -57,15 ± 20,2  |
| 13           | -27,08 ± 26,5       | -64,59 ± 38,3 | -66,67 ± 17,7  | -41,67 ± 5,9   |
| 14           | -35,72 ± 20,2       | -51,79 ± 2,5  | -14,29 ± 20,2  | 12,5 ± 2,5     |
| 15           | -43,34 ± 33,0       | -10 ± 14,1    | -15 ± 25,9     | 1,67 ± 7,1     |
| 16           | -27,27 ± 0,0        | -56,82 ± 16,1 | -50 ± 16,1     | -15,91 ± 22,5  |
| 17           | -35,19 ± 13,1       | -5,56 ± 23,6  | -1,85 ± 23,6   | -3,71 ± 21,0   |
| 18           | -5,77 ± 2,7         | 7,69 ± 27,2   | -5,77 ± 2,7    | -11,54 ± 19,0  |
| 19           | -3,85 ± 0,0         | -15,39 ± 21,8 | -30,77 ± 0,0   | 23,08 ± 16,3   |
| 20           | -41,31 ± 9,2        | -41,31 ± 27,7 | -43,48 ± 0,0   | -6,52 ± 15,4   |
| 21           | -24 ± 11,3          | -38 ± 25,5    | -52 ± 0,0      | -20 ± 5,7      |
| 22           | -30 ± 14,1          | -100 ± 18,9   | -90 ± 4,7      | -73,33 ± 0,0   |
| 23           | -111,11 ± 0,0       | -80,56 ± 3,9  | -52,78 ± 19,6  | -47,22 ± 3,9   |
| 24           | -9,53 ± 6,7         | -2,38 ± 3,4   | 14,29 ± 0,0    | 38,1 ± 6,7     |
| 25           | -40 ± 17,0          | -22 ± 25,5    | -32 ± 5,7      | -28 ± 22,6     |
| 26           | -30,77 ± 16,3       | -9,62 ± 2,7   | -5,77 ± 8,2    | 5,77 ± 13,6    |
| 27           | -47,83 ± 18,5       | -47,83 ± 0,0  | -65,22 ± 15,4  | -8,71 ± 0,0    |
| 28           | -27,09 ± 3,0        | -43,75 ± 8,8  | -14,59 ± 3,0   | 29,17 ± 5,9    |
| 29           | -57,15 ± 20,2       | -52,39 ± 13,5 | -50 ± 30,3     | -26,19 ± 3,4   |
| 30           | -3,34 ± 23,6        | -21,67 ± 16,5 | -15 ± 2,4      | -16,67 ± 18,9  |
| 31           | -25,93 ± 10,5       | -40,74 ± 15,7 | -38,89 ± 13,1  | -9,26 ± 7,9    |
| 32           | -18,75 ± 8,8        | -9,38 ± 22,1  | -9,38 ± 4,4    | -15,62 ± 15,5  |
| 33           | -13,24 ± 35,4       | -22,06 ± 31,2 | 10,3 ± 27,0    | 22,06 ± 2,1    |
| 34           | -82,61 ± 12,3       | -93,48 ± 3,1  | -102,18 ± 27,7 | -104,35 ± 18,5 |

### 5.3. Hydroponické pěstování salátu setého

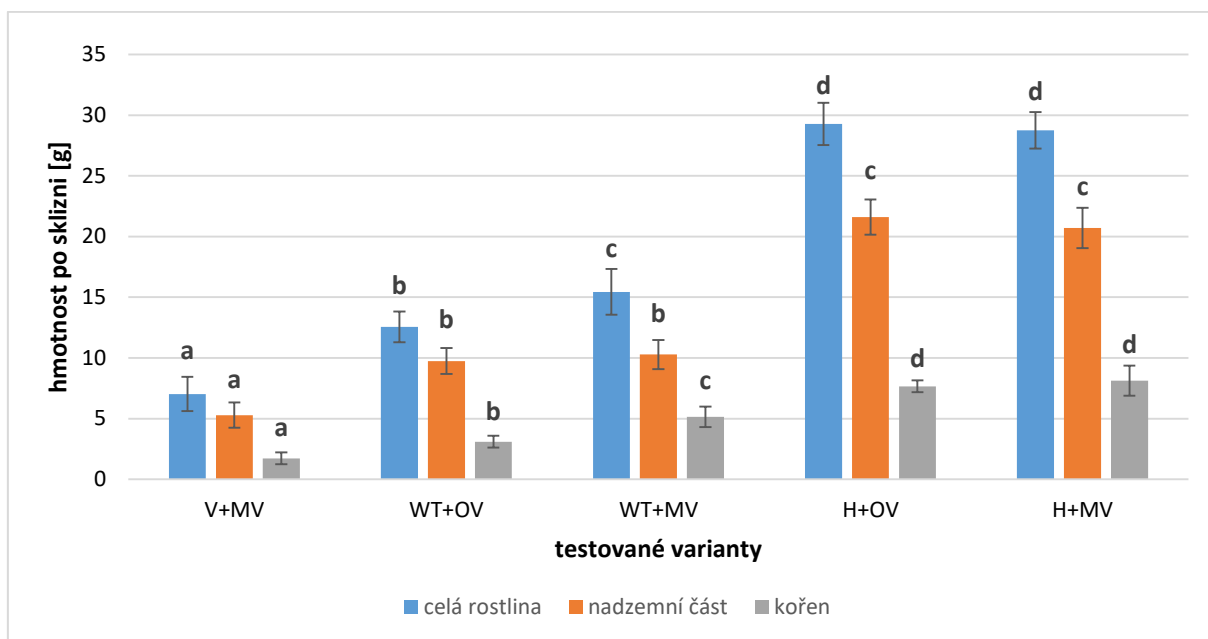
Průměrné hmotnosti [g] celých rostlin, nadzemních částí a kořenů se směrodatnou odchylkou v jednotlivých testovaných variantách a kontrole po ukončení pokusu jsou zobrazeny na Obr. 11. Statistickou metodou ANOVA ( $p < 0,05$ ) byla testována nulová hypotéza, která říká, že hmotnosti celých rostlin/nadzemních částí/kořenů se neliší v závislosti na testované variantě, pro párové srovnání byl použit Tukeyho test. Různá písmena v grafu pak reprezentují statisticky významný rozdíl. Průměrná hmotnost [g] celých rostlin a nadzemních částí byla nejvyšší u salátů pěstovaných v Hoaglandově živném roztoku s ovčí vlnou jako substrátem, kde průměrná hmotnost dosahovala hodnoty 29,29 g

u celých rostlin a 26,61 g u nadzemních částí. Druhé největší průměrné hmotnosti dosahovaly celé rostliny a nadzemní části u varianty Hoaglandův roztok-minerální vata, mezi hmotnostmi celých rostlin a nadzemními částmi ve variantě Hoaglandův roztok-ovčí vlna a Hoaglandův roztok-minerální vata však nebyl shledán statisticky významný rozdíl ( $p < 0,05$ ), dva různé druhy růstových podpůrných substrátů tedy statisticky významně neovlivnily hmotnosti celých rostlin a jejich nadzemních částí. Průměrná hmotnost kořenů byla nejvyšší ve variantě Hoaglandův roztok-minerální vata s průměrnou hodnotou 8,12 g, kořeny s druhou největší průměrnou hmotností pak byly ve variantě Hoaglandův roztok-ovčí vlna a to 7,66 g. Ani zde však nebyl prokázán statisticky významný rozdíl mezi těmito variantami. Hmotnosti celých rostlin a kořenů rostlin pěstovaných ve worm tea s minerální vatou byly prokazatelně odlišné oproti hmotnostem celých rostlin a kořenů rostlin pěstovaných ve worm tea s ovčí vlnou, mezi hmotnostmi nadzemních částí salátů pěstovaných ve variantě worm tea-ovčí vlna a worm tea-minerální vata však již nebyl prokázán statisticky významný rozdíl. Statisticky významný rozdíl byl shledán mezi hmotnostmi celých rostlin, nadzemních částí i kořenů salátů pěstovaných v Hoaglandově živném roztoku s ovčí vlnou/minerální vatou jako substrátem a hmotnostmi v kontrole. Též mezi hmotnostmi salátů ve variantě Hoaglandův roztok-ovčí vlna/minerální vata a hmotnostmi ve variantě worm tea-minerální vata byl shledán statisticky významný rozdíl. Saláty pěstované ve worm tea s ovčí vlnou nebo minerální vatou jako substrátem měly prokazatelně vyšší průměrnou hmotnost celých rostlin, nadzemních částí i kořenů oproti průměrné hmotnosti v kontrole, ne však oproti variantě s Hoaglandovým roztokem jako živným substrátem.

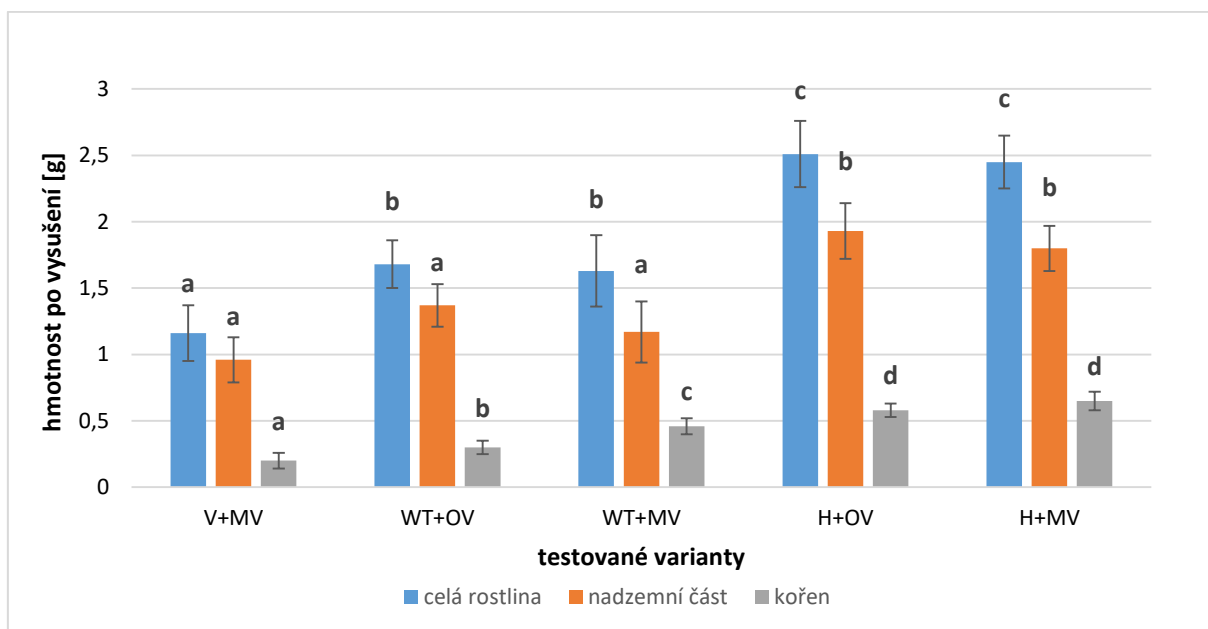
Průměrné hmotnosti [g] a směrodatné odchylky celých rostlin, nadzemních částí a kořenů po ukončení pokusu a usušení do konstantní hmotnosti jsou zobrazeny v grafu na Obr. 12. Statistickou metodou ANOVA byla opět testována nulová hypotéza, která říká, že hmotnosti celých rostlin/nadzemních částí/kořenů po usušení se neliší v závislosti na testované variantě. Pro párové srovnání byl použit Tukeyho test. Různá písmena v grafu reprezentují statisticky významný rozdíl. Nejvyšší průměrná hmotnost celých rostlin a nadzemních částí po usušení do konstantní hmotnosti byla 2,51 g, respektive 1,93 g u rostlin pěstovaných ve variantě Hoaglandův roztok-ovčí vlna, nejvyšší průměrná hmotnost kořenů po usušení byla u varianty Hoaglandův roztok-minerální vata s průměrnou hodnotou 0,65 g, rozdíly mezi těmito dvěma variantami však nebyly statisticky významné ( $p < 0,05$ ). Mezi hmotnostmi celých rostlin a nadzemních částí po usušení ve variantě worm tea-ovčí vlna a worm tea-minerální vata nebyl prokázán statisticky významný rozdíl, statisticky významný

rozdíl byl však zaznamenán mezi stejnými variantami u hmotností kořenů po usušení. Statisticky významný rozdíl oproti kontrole byl zaznamenán u hmotností všech částí rostlin pěstovaných v Hoaglandově živném roztoku. Hmotnosti nadzemních částí rostlin (po usušení) pěstovaných ve worm tea s ovčí vlnou/minerální vatou nevykazovaly statisticky významný rozdíl oproti kontrole, hmotnosti celých rostlin a kořenů již ale byly prokazatelně odlišné od kontroly. Průměrná hmotnost celých rostlin a kořenů pěstovaných ve worm tea byla tedy prokazatelně vyšší oproti kontrole, což neplatí pro nadzemní části. Průměrné hmotnosti rostlin pěstovaných ve worm tea byly naopak menší ve srovnání s rostlinami v Hoaglandově roztoku.

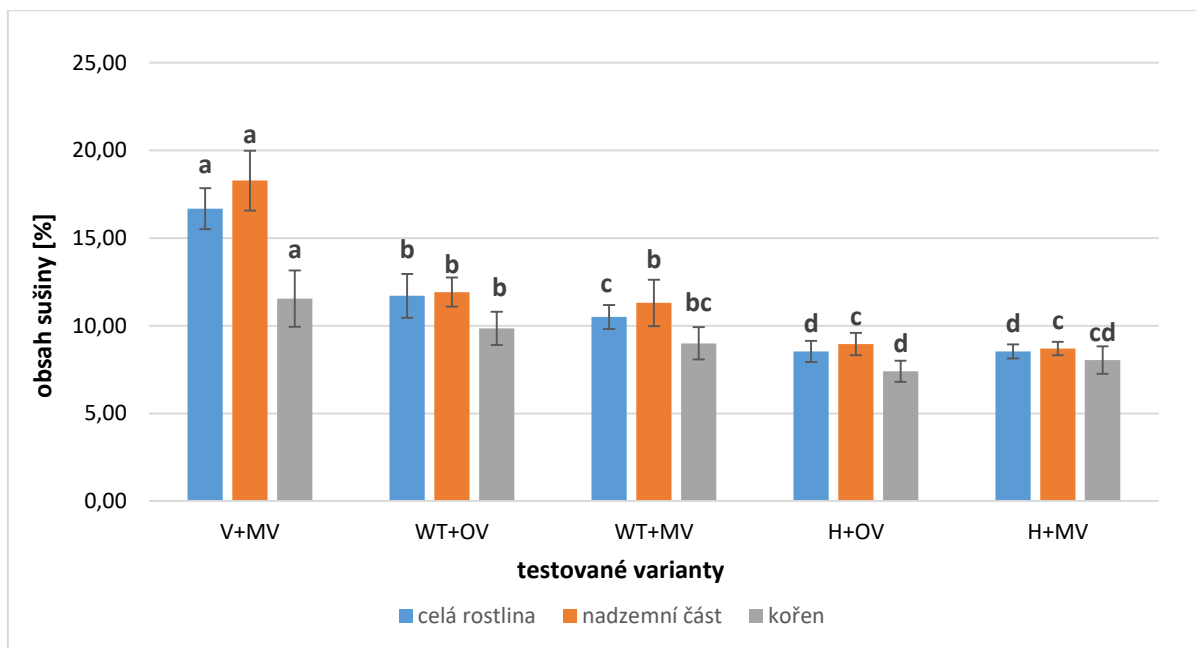
Obr. 13 ukazuje průměrné hodnoty procenta sušiny z hmotnosti před vysušením celých rostlin, nadzemních částí a kořenů. Statistickou metodou ANOVA byla testována nulová hypotéza, která říká, že procenta sušiny celých rostlin/nadzemních částí/kořenů po usušení se neliší v závislosti na testované variantě. Pro párové srovnání byl použit Tukeyho test. Různá písmena v grafu pak reprezentují statisticky významný rozdíl. Největší průměrné procento sušiny měly celé rostliny, nadzemní části a kořeny v kontrole, tyto hodnoty byly 16,67 %, 18,28 % a 11,55 %. Hodnoty vykazovaly statisticky významný rozdíl oproti všem testovaným variantám. Naopak nejmenší průměrné procento sušiny vykazovaly rostliny pěstované v obou variantách s Hoaglandovým živným roztokem, mezi hodnotami dvou variant s Hoaglandovým roztokem nebyl prokázán statisticky významný rozdíl. Prokazatelně významný rozdíl byl mezi obsahem sušiny celých rostlin pěstovaných ve dvou variantách worm tea, hodnoty nadzemních částí a kořenů již však nebyly mezi těmito variantami statisticky významně rozdílné. Statisticky významný rozdíl byl prokázán mezi obsahem sušiny celých rostlin a nadzemních částí pěstovaných ve variantě worm tea-ovčí vlna/minerální vata a rostlin pěstovaných v obou variantách s Hoaglandovým roztokem. Naopak prokazatelný rozdíl nebyl prokázán mezi obsahem sušiny kořene ve variantě worm tea-minerální vata a obsahem sušiny ve variantě Hoaglandův roztok-minerální vata. Mezi variantami worm tea-ovčí vlna a Hoaglandův roztok-ovčí vlna však statisticky významný rozdíl v obsahu sušiny kořene byl. Průměrné hodnoty obsahu sušiny u celých rostlin, nadzemních částí a kořenů rostlin pěstovaných ve worm tea tedy byly prokazatelně nižší oproti kontrole, nicméně průměrný obsah sušiny celých rostlin a nadzemních částí byl vyšší oproti rostlinám pěstovaným v Hoaglandově živném roztoku, v případě obsahu sušiny kořene u varianty worm tea-ovčí vlna, byla i zde průměrná hodnota vyšší.



Obr. 11: Průměrné hmotnosti [g] a SD celých rostlin, nadzemních částí a kořenů po ukončení pokusu v kontrole (V+MV) a 4 testovaných variantách (WT+OV, WT+MV, H+OV, H+MV). Různá písmena reprezentují statisticky významné rozdíly dle Tukeyho testu ( $p < 0,05$ ). Označení testovaných variant: V+MV (kontrola) – voda+minerální vata, WT+OV – worm tea+ovčí vlna, WT+MV – worm tea+minerální vata, H+OV – Hoaglandův roztok+ovčí vlna, H+MV – Hoaglandův roztok+minerální vata.



Obr. 12: Průměrné hmotnosti [g] a SD celých rostlin, nadzemních částí a kořenů po usušení do konstantní hmotnosti po ukončení pokusu v kontrole (V+MV) a 4 testovaných variantách (WT+OV, WT+MV, H+OV, H+MV). Různá písmena reprezentují statisticky významné rozdíly dle Tukeyho testu ( $p < 0,05$ ). Označení testovaných variant: V+MV (kontrola) – voda+minerální vata, WT+OV – worm tea+ovčí vlna, WT+MV – worm tea+minerální vata, H+OV – Hoaglandův roztok+ovčí vlna, H+MV – Hoaglandův roztok+minerální vata.



Obr. 13: Průměrné hodnoty obsahu sušiny a SD celých rostlin, nadzemních částí a kořenů v kontrole (V+MV) a 4 testovaných variantách (WT+OV, WT+MV, H+OV, H+MV) po ukončení pokusu. Různá písmena reprezentují statisticky významné rozdíly dle Tukeyho testu ( $p < 0,05$ ). Označení testovaných variant: V+MV (kontrola) – voda+minerální vata, WT+OV – worm tea+ovčí vlna, WT+MV – worm tea+minerální vata, H+OV – Hoaglandův roztok+ovčí vlna, H+MV – Hoaglandův roztok+minerální vata.

## 6. Diskuze

Prvním cílem této diplomové práce bylo charakterizovat worm tea z hlediska jeho vlastností a složení. Hodnota pH všech vzorků worm tea se pohybovala v mírně zásadité až silně zásadité oblasti. Koncentrované (nenaředené) vzorky měly pH v rozmezí 7,52-9,66. Pro srovnání, worm tea vzniklý vermikompostováním zeleninového odpadu prováděném Singh a kol. (2010) měl pH 7,5, Basílico a kol. (2016) zase uvádí ve své studii pH worm tea vzniklého vermikompostováním domácího organického odpadu vyšší než 8. Hodnota pH vyšší než 7 vyvolává hned několik problémů. Při rostoucím pH ( $>7$ ) klesá koncentrace  $\text{NH}_4^+$ , zatímco roste koncentrace  $\text{NH}_3$  (De Rijck a Schrevens, 1998). Toto tvrzení je v souladu s hodnotami pH a koncentracemi  $\text{NH}_4^+$  naměřenými ve vzorcích worm tea. Například vzorek č. 20 s pH 7,52 měl obsah  $\text{NH}_4^+$  68,6 ppm, zatímco vzorek č. 24 s pH 9,12 už měl obsah  $\text{NH}_4^+$  pouze 1,5 ppm, stejně jako vzorek č. 6, který měl pH 8,0 a obsah  $\text{NH}_4^+$  233,5 ppm a vzorek č. 9 s pH 9,66 pouze 12,5 ppm  $\text{NH}_4^+$ . Nevýhodou alkalického pH, jaké mají i naše vzorky worm tea, je také možná akumulace  $\text{NO}_2^-$ . Tyson a kol. (2007) ve své studii pozorovali akumulaci  $\text{NO}_2^-$  v živném roztoku při pH 8,5. Při tomto pH může dojít k nárůstu obsahu  $\text{NO}_2^-$  až k hodnotám, které jsou pro rostliny škodlivé ( $4,2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NO}_2^-$ ), a to díky větší míře oxidace amoniaku oproti oxidaci dusitanů (Tyson a kol., 2007). Z 34 vzorků worm tea byly dusitany detekovány v 7 vzorcích, přičemž u všech těchto vzorků byla překročena hladina škodlivosti. Okolo pH 8,5 se však ze 7 vzorků obsahujících  $\text{NO}_2^-$  pohyboval pouze vzorek č. 26 s pH 8,63, zvýšená koncentrace dusitanů u ostatních vzorků tedy mohla být způsobena jiným faktorem než je pH. Na pH je také závislá forma výskytu fosforu. Největší množství biodostupného fosforu je při mírně kyselém pH, v alkalickém pH potom množství dostupného fosforu klesá. Dokazují to i vzorky worm tea, kdy v některých vzorcích nebyl fosfor ve formě  $\text{PO}_4^{3-}$  vůbec detekován. Naopak malý vliv pH je v případě draslíku, který se vyskytuje nejčastěji jako volný ion při pH 2-9, pouze malá část  $\text{K}^+$  pak tvoří rozpustné komplexy se sírany nebo je navázána na chloridy. Také vápník a hořčík se vyskytují v širokém rozmezí pH, ale při pH vyšším než 8,3 se  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{Mg}^{2+}$  snadno sráží jako uhličitaný vápenatý a hořečnatý. Železo, měď, zinek, bor a mangan sice ve vzorcích stanovovány nebyly, tyto prvky se však při pH vyšším než 6,5 stávají pro rostliny nedostupnými a tudíž ani ve vzorcích worm tea, které měly pH vyšší než 6,5, by se tyto prvky nejspíše nevyskytovaly v dostupné formě (Trejo-Téllez a Gómez-Merino, 2012 podle Timmons a kol., 2002).



Rozdíl v konduktivitě vzorků worm tea byl velký, konduktivita u nenařazených vzorků se pohybovala v rozmezí  $3,2 - 32,6 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Vysoká konduktivita  $32,6 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$  u vzorku č. 9 byla zřejmě způsobena především vysokou koncentrací draslíku ( $\text{K}^+$ ), která činila 8844,8 ppm, což byla nejvyšší hodnota ze všech vzorků worm tea. To potvrzuje i korelace mezi draslíkem a konduktivitou ( $p < 0,05$ ), která říká, že čím vyšší obsah draslíku ve vzorcích byl, tím vyšší konduktivitu vzorky vykazovaly. Naopak vzorek (č. 5) s nejmenší konduktivitou  $3,2 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$  měl nejmenší množství draslíku ze všech vzorků, 1023,1 ppm. Na konduktivitu obecně mají vliv i jiné kationty a anionty, především  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , u vzorků worm tea však nebyla tato závislost statisticky významná.

Co se týče složení worm tea, ne u každého vzorku byly detekovány všechny makronutrienty potřebné pro růst rostlin, tzn. dusík, fosfor, draslík, síra, vápník a hořčík. Fosforečnany nebyly detekovány u 6 vzorků worm tea, což může být dáno právě alkalickým pH, jak již bylo zmíněno výše. Ani dusičnany ( $\text{NO}_3^-$ ) nebyly detekovány ve všech vzorcích. Řešením pro nedostatek fosforu a dusíku ve vzorcích by mohlo být jejich doplnění NPK hnojivem, jak navrhuje Gutiérrez-Miceli a kol. (2017). Nízké koncentrace dusíku a fosforu ve worm tea vzniklém vermikompostováním domácího organického odpadu popisuje ve své studii zaměřené na správné ředění worm tea také Basílico a kol. (2016). Ostatní makronutrienty draslík, síra, vápník a hořčík byly zaznamenány ve všech vzorcích worm tea. Koncentrace draslíku byla napříč všemi vzorky velmi vysoká. Největší podíl draslíku ve worm tea může pocházet z dekompozice zbytků banánů a brambor. Banány obsahují průměrně  $3800 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  draslíku, brambory potom kolem  $4000 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Velmi vysoké množství draslíku na kg potom obsahuje černý čaj ( $21\,600 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) a káva ( $20\,200 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), které jsou velmi častou surovinou zpracovávanou ve vermikompostérech. Menší množství ve worm tea pak bylo síry ve formě  $\text{SO}_4^{2-}$ . Síra mohla pocházet například z brambor, kde je průměrné množství  $1160 \text{ mg/kg}$ , ostatní zelenina jako například mrkev nebo jablka obsahují průměrně  $170\text{--}190 \text{ mg/kg}$  síry. Vápník a hořčík jsou prvky, které se vyskytují většinou společně, což dokazuje korelační test ( $p < 0,05$ ), který prokázal přímou závislost mezi vápníkem a hořčíkem. Vápník přítomný ve vzorcích mohl pocházet například z vaječných skořápek, které se mohou v malém množství do vermikompostéru drtit, mezi  $30$  a  $130 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  vápníku je pak obsaženo v banánech a bramborách a velké koncentrace vápníku obsahuje opět černý čaj a káva. Ve stejných surovinách se vyskytuje i hořčík. Co se týče sodíku a chloridů, jejich výskyt ve worm tea může souviset s vermikompostováním zbytků vařených jídel, jako například brambor apod., které obsahují kuchyňskou sůl. Tuto domněnku potvrzuje korelace mezi chloridy a sodíkem. Ve větším množství se pak sodík

vyskytuje také v bramborách (až 2800 mg·kg<sup>-1</sup>) nebo černém čaji (až 4500 mg·kg<sup>-1</sup>) (web 2). Vzorky worm tea obsahovaly velmi vysoké množství celkového organického uhlíku, z čehož se dá usuzovat na velké množství organických látek přítomných ve worm tea. Kromě tří vzorků se hodnoty TOC pohybovaly v rozmezí 515,1-3751,56 mg·L<sup>-1</sup>. Velmi vysoké hodnoty u vzorku č. 9, 13 a 20 mohly být způsobené delší dobou, po kterou worm tea ležel v zásobníku vermikompostéru. Během této doby mohlo docházet k odpařování vody z worm tea. Přímou závislost TOC a obsahu PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, Cl<sup>-</sup> a Ca<sup>2+</sup> potvrzují výsledné hodnoty jejich obsahu například při porovnání vzorku č. 20 s nejvyšším obsahem TOC a vzorku č. 1, který má naopak nízký obsah TOC. Jelikož konduktivita nebyla prokázána jako vhodný parametr pro porovnání vzorků mezi sebou při naředění na stejnou konduktivitu, dalším parametrem, podle kterého by se vzorky mohly naředit a následně tak lépe stanovit jednotnou hodnotu ředění, by mohlo být právě TOC. Zde je prostor pro další výzkum, který již nebyl součástí této DP.

Výsledky pokusu, při kterém se hydroponicky pěstoval salát setý ve směsném vzorku worm tea ukázaly, že průměrná hmotnost celých rostlin, ale i samotných nadzemních částí a kořenů byla vyšší oproti kontrole, kterou byla voda. Podobné výsledky, jen s délkami nadzemních částí a kořenů zaznamenal Quaik a kol. (2012) při hydroponickém pěstování rýmovníku citronového ve worm tea. Průměrná hmotnost kořenů rostlin pěstovaných ve worm tea s minerální vatou (MV) (5,15 g) sice byla menší než těch pěstovaných v Hoaglandově roztoku s MV (8,12 g), rozdíl v hmotnostech však nebyl tak velký, jako při porovnání nadzemních částí, kdy nadzemní části v Hoaglandově roztoku měly dvojnásobnou hmotnost oproti těm ve worm tea. To ukazuje, že worm tea má dobrý vliv na růst kořenů a zejména v počátečním vývoji, týden po přesazení rostlin salátů do hydroponického systému, byl pozorován větší vývoj kořenů než v Hoaglandově roztoku. Tento pozitivní vliv worm tea na kořeny může být způsoben velkým množstvím draslíku (K<sup>+</sup>) ve worm tea (Quaik a kol., 2012) a zároveň možným obsahem organických kyselin a rostlinných růstových hormonů, které mají vliv na počáteční vývoj kořene (Pant a kol., 2011). Naopak statisticky významný rozdíl mezi hmotnostmi nadzemních částí i kořenů před a po vysušení nebyl zaznamenán při hydroponickém pěstování *Stevia rebaudiana* ve worm tea a anorganickém hnojení prováděném Bidabadi a kol. (2015). Při porovnání hmotnosti nadzemních částí po usušení, tyto hmotnosti již nebyly prokazatelně odlišné od kontroly a mezi průměrnými hmotnostmi nadzemních částí ve worm tea (MV) a Hoaglandově roztoku (MV) nebyly tak velké rozdíly jako při porovnání hmotností před vysušením. To značí, že výpěstek v Hoaglandově roztoku nebyl o moc výživnější než ve worm tea a značnou část

hmotnosti tvořila voda. Potvrzuje to i Obr. 17, na kterém je vidět, že největší obsah sušiny měly rostliny pěstované pouze ve vodě, přičemž nejmenší obsah sušiny měly rostliny pěstované v Hoaglandově roztoku. Možným důvodem, proč rostliny pěstované ve worm tea měly téměř dvojnásobně menší hmotnost před usušením než rostliny pěstované v Hoaglandově roztoku, je ne zcela optimální pH vzorku worm tea, který byl při pěstování použit. Hodnota pH worm tea naředěného na 10 % (v/v) byla 8,1, přičemž správná hodnota pH živných roztoků, která zajistí správný vývoj rostliny, by se měla pohybovat mezi 5,5-6,5 (Trejo-Téllez a Gómez-Merino, 2012). Při pH vyšším než 7 totiž může být omezen příjem živin rostlinou z důvodu srážení  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{Mg}^{2+}$  do nerozpustných a tím pádem pro rostliny nedostupných solí (Trejo-Téllez a Gómez-Merino, 2012 podle Resh, 2004). Saláty jsou také citlivé na salinitu, nicméně zde hodnota elektrické vodivosti worm tea splňovala prahovou hodnotu pro saláty  $1,4 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$  (Trejo-Téllez a Gómez-Merino, 2012 podle Tanji, 1990). Dílčím cílem při hydroponickém pěstování salátů bylo zjistit, zda by ovčí vlna byla vhodným podpůrným substrátem. V hmotnostech nadzemních částí ani kořenů po usušení nebyl statisticky významný rozdíl mezi minerální vatou a ovčí vlnou v případě Hoaglandova roztoku, v případě worm tea pak byl prokázán statisticky významný rozdíl v hmotnostech kořene po usušení. Průměrná hmotnost kořenů po usušení byla s hodnotou 0,46 g vyšší u varianty s minerální vatou, rozdíl mezi minerální vatou a ovčí vlnou však nebyl velký. Při krátkodobém pěstování salátů v hydroponickém systému s ovčí vlnou jako substrátem se neprojevily pozitivní, ale ani negativní vlivy na rostlinu oproti minerální vatě a ovčí vlna by se tedy dala využít jako podpůrný substrát při krátkodobém pěstování rostlin. Dannehl a kol. (2014) však shledal ovčí vlnu při hydroponickém pěstování rajčat jako substrát nevhodný pro hydroponické pěstování, na rozdíl od vysušeného rašeliníku, který by mohl být alternativou k minerální vatě. Pokus prováděný Dannehl a kol. (2014) však trval 6 týdnů od přesazení do hydroponického systému, tedy delší dobu než pokus prováděný v této diplomové práci na salátu setém, negativní vlivy se po takovéto době tedy mohly projevit.

Korelační test ( $p < 0,05$ ) mezi inhibicí a konduktivitou nepotvrdil hypotézu, že hodnoty inhibice korelují s elektrickou vodivostí (konduktivitou) ani s jinými parametry naměřenými v této diplomové práci. Hypotézu nepotvrdily ani výsledky ekotoxikologického testu, který byl proveden se vzorky naředěnými na stejnou konduktivitu  $6,3 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ , k čemuž bylo přistoupeno, aby se ověřilo, že konduktivita na inhibici nemá vliv, jak bylo zjištěno z pokusu provedeného se vzorky s různou konduktivitou. Inhibice, potažmo stimulace tedy zřejmě bude závislá na některých organických složkách, které se ve worm tea

vyskytují a tedy nebude jednoduché optimalizovat ředění worm tea vzniklého v domácnostech, kde se během roku zpracovávají různé suroviny, které pak ovlivňují vlastnosti vzniklého worm tea. Nabízí se také téma pro další výzkumné práce, jak různé suroviny přidávané do vermikompostéru ovlivňují složení a vlastnosti worm tea. Z ekotoxikologických testů prováděných na semenech hořčice bílé se ukázalo, že největší stimulaci klíčení semen a růstu kořinek hořčice bílé měly vzorky worm tea naředěné na 2,5 % (v/v). Při tomto ředění měl pouze jeden vzorek (č. 11) inhibiční vlastnosti, nevykazoval však v naměřených parametrech žádné abnormální vlastnosti oproti ostatním vzorkům. Vliv různých koncentrací výluhu z vermikompostu na klíčivost a růst semenáčků rajčat prováděli také Arancon a kol. (2012). Namočení semínek rajčat do 1 % výluhu z vermikompostu na 24 hodin signifikantně zvýšilo klíčivost semen, zatímco klíčivost semen namočených v 5% výluhu již nebyla signifikantně odlišná od semen v kontrole. Klíčivost pak klesla oproti kontrole u semen namočených v 10% a 20% výluhu z vermikompostu. Délka a hustota kořenů u semenáčků pak byla největší u semen namočených v 5% výluhu. Pozitivní vliv výluhu z vermikompostu na klíčivost semen a růst semenáčků rajčat po aplikaci do substrátu prokázali také Edwards a kol. (2006). Worm tea by se tedy dal použít jako přípravek pro podporu klíčení a následného růstu kořenů sazenic při počátečním vývoji rostlin, což podpořily výsledky ekotoxikologických testů a hydroponického pěstování salátu setého ve worm tea v této DP. K podobnému závěru došli také Quaik a kol. (2012) nebo Fathima a Sekar (2014).

Za účelem zjištění vhodnosti vermikompostování jako metody pro zpracování bioodpadů v rámci komunity byl po dobu jednoho roku v budově školy provozován vermikompostér Urbalive a pravidelně kontrolován jeho stav. Ukázalo se, že vermikompostování v této formě, tedy v malých domácích vermikompostérech, nejspíš nebude nejvýhodnější metoda pro komunitní zpracování bioodpadů a to zejména kvůli nedisciplinovanosti lidí, kteří vermikompostér využívali. Vyhazování odpadu, který do vermikompostéru nepatří, způsobovalo jeho plesnivění, stejně jako nadmíra odpadů, které žížaly nestačily zpracovávat. Pro využití malého domácího vermikompostéru v rámci komunity by tedy byla potřeba řádná osvěta a nadšení lidí pro tento způsob zpracování bioodpadu.

## 7. Závěr

V této diplomové práci bylo charakterizováno 34 vzorků worm tea vzniklých vermikompostováním kuchyňského biodopadu v malých domácích vermikompostérech. U každého vzorku byla změřena konduktivita, pH, stanoven obsah vybraných kationtů a aniontů a obsah TOC. Hodnoty pH se pohybovaly v rozmezí 7,52-9,66, konduktivita v rozmezí 3,2-32,6 mS·cm<sup>-1</sup>. Z kationtů byl měřen obsah K<sup>+</sup> (81,71-93,10 %), Na<sup>+</sup> (2,97-12,22 %), Ca<sup>2+</sup> (0,59-7,64), Mg<sup>2+</sup> (0,02-7,62 %), NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (0,02-7,18 %), z aniontů pak obsah Cl<sup>-</sup> (17,42-94,77), SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (3,4-46,80 %), PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (0-46,52 %), NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (0-54,65 %), NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (0-6,4 %). Obsah TOC se pohyboval mezi 515,1-9854,73 mg·L<sup>-1</sup>. Z těchto výsledků vyplývá velká různorodost vzorků a nabízí se tedy otázka pro další výzkum, jak suroviny přidávané do vermikompostu ovlivňují složení worm tea.

Hodnoty inhibice z ekotoxikologického testu se semeny *Sinapis alba* nekorelovaly s hodnotami konduktivity a nebyla tak potvrzena stanovená hypotéza, že inhibiční účinky worm tea korelují s obsahem iontů a tedy hodnotou elektrické vodivosti, na základě které by mohlo dojít k následnému naředění worm tea. Hodnoty inhibice nekorelovaly ani s ostatními parametry měřenými ve vzorcích worm tea. Inhibiční, potažmo stimulační účinek worm tea tedy nelze spolehlivě předvídat na základě hodnot jednotlivých měřených parametrů. Spíše půjde o kombinaci mnoha faktorů. Navíc inhibice, potažmo stimulace zřejmě bude závislá také na některých organických složkách, jejichž stanovení nebylo součástí této diplomové práce. Ekotoxikologické testy se semeny hořčice bílé (*Sinapis alba*) však ukázaly, že největší procento vzorků vykazovalo stimulační vlastnosti při koncentraci 2,5 % (v/v). Při tomto ředění pouze jeden vzorek z 34 vykazoval inhibiční vlastnosti. Naopak při ředění 10 % (v/v) již inhibovalo semena *Sinapis alba* 32 % vzorků. Vzhledem k různorodosti vzorků, které při domácím vermikompostování vznikají, však nelze tato ředění aplikovat plošně na všechny vzniklé worm tea.

S cílem zjistit možnosti využití worm tea byl směsný vzorek worm tea testován jako živný roztok při hydroponickém pěstování *Lactuca sativa*. Byla potvrzena hypotéza, že worm tea může částečně nahradit živný roztok při hydroponickém pěstování. Průměrná hmotnost celých rostlin, nadzemních částí i kořenů byla vyšší oproti kontrole, nedosahovala však průměrné hmotnosti rostlin pěstovaných v Hoaglandově roztoku. Výsledné hodnoty hmotností celých rostlin, nadzemních částí a kořenů po usušení na druhou stranu ukazují na vyšší podíl vody u rostlin pěstovaných v Hoaglandově roztoku, což o něco snižuje rozdíl ve

výnosu sušiny biomasy mezi worm tea a Hoaglandovým roztokem. Průměrná hmotnost kořenů rostlin pěstovaných ve worm tea byla menší než v Hoaglandově roztoku, rozdíl v hmotnostech však nebyl dvojnásobný jako u nadzemních částí rostlin. Z pokusu tedy vyplývá, že worm tea má dobrý vliv na vývoj kořenů a ve spojení s výsledky ekotoxikologického testu se dá říci, že worm tea by mohl být využitelný jako přípravek pro podporu klíčení a následného růstu kořenů sazenic při počátečním vývoji rostlin. Použití ovčí vlny jako podpůrného substrátu při hydroponickém pěstování nezpůsobilo pozitivní ani negativní odezvu v hmotnostech pěstovaného salátu *Lactuca sativa*, ovčí vlna by se tedy při krátkodobém pěstování mohla použít jako substrát.

Roční provozování malého vermikompostéru v prostorách školy ukázalo, že tento způsob zpracování bioodpadu v rámci komunity není nejvhodnější a pro jeho provozování by byla nutná řádná osvěta.

## Seznam literatury

ANSARI, Abdullah Adil. Effect of vermicompost and vermiwash on the productivity of spinach (*Spinacia oleracea*), onion (*Allium cepa*) and potato (*Solanum tuberosum*). *World Journal of Agricultural Sciences*, 2008, 4.5: 554-557.

ARANCON, Norman Q., et al. Seed germination and seedling growth of tomato and lettuce as affected by vermicompost water extracts (teas). *HortScience*, 2012, 47.12: 1722-1728.

AREMU, Adeyemi O., et al. Evidence of phytohormones and phenolic acids variability in garden-waste-derived vermicompost leachate, a well-known plant growth stimulant. *Plant growth regulation*, 2015, 75.2: 483-492.

ARSHAD, M.; FRANKENBERGER, W. T. Microbial production of plant growth regulators. *Blaine Metting F. Jr. Soil*, 1992.

ATIYEH, R. M., et al. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresource technology*, 2002, 84.1: 7-14.

BALASUNDRAM, Nagendran; SUNDARAM, Kalyana; SAMMAN, Samir. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food chemistry*, 2006, 99.1: 191-203.

BENITEZ, E., et al. Isolation by isoelectric focusing of humic-urease complexes from earthworm (*Eisenia fetida*)-processed sewage sludges. *Biology and fertility of soils*, 2000, 31.6: 489-493.

BIOM.CZ – dostupné ke dni 15.12.2018 z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/humus-pudaro-rostlina-3-humus-a-rostlina-rozpustne-humusove-latky-v-ekosystemu>

BHATTARAI, Surya Prasad, et al. Oxygenation of the rockwool substrate for hydroponics. 2008.

BLAABJERG, J. Physical and chemical compositions of the inactive growing medium Grodan and its fields of application and extension. *Nutrient Film Technique and Substrates, XXI IHC 133*, 1982, 53-58.

CALATAYUD, Ángeles, et al. Effect of two nutrient solution temperatures on nitrate uptake, nitrate reductase activity,  $\text{NH}_4^+$  concentration and chlorophyll a fluorescence in rose plants. *Environmental and Experimental Botany*, 2008, 64.1: 65-74.

CANELLAS, Luciano Pasqualoto, et al. Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma membrane  $\text{H}^+$ -ATPase activity in maize roots. *Plant physiology*, 2002, 130.4: 1951-1957.

CARLOS, Garcia-Gomez Roberto; DENDOOVEN, Luc; ANTONIO, Gutierrez-Miceli Federico. Vermicomposting leachate (worm tea) as liquid fertilizer for maize (*Zea mays* L.) forage production. *Asian Journal of Plant Sciences*, 2008, 7.4: 360-367.

DANNEHL, Dennis, et al. Evaluation of substitutes for rock wool as growing substrate for hydroponic tomato production. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 2015, 88.1.

- DE RIJCK, G.; SCHREVEN, Eddie. Cationic speciation in nutrient solutions as a function of pH. *Journal of plant nutrition*, 1998, 21.5: 861-870.
- DIVI, Uday K.; KRISHNA, Priti. Brassinosteroid: a biotechnological target for enhancing crop yield and stress tolerance. *New Biotechnology*, 2009, 26.3-4: 131-136.
- DOMÍNGUEZ, J. State-of-the-Art and New Perspectives on Vermicomposting Research. *Earthworm Ecology*, O. 8-193. 18 1 9. XI04. 2004.
- DOMÍNGUEZ, Jorge. Earthworms and Vermicomposting. *Intechopen*, 2018
- DOMINGUEZ, Jorge; EDWARDS, Clive A. Biology and ecology of earthworm species used for vermicomposting. *Vermiculture technology: earthworms, organic wastes, and environmental management*. CRC Press USA. Elvira, C., Sampedro, 2011.
- DRAKE, Harold L.; HORN, Marcus A. As the worm turns: the earthworm gut as a transient habitat for soil microbial biomes. *Annu. Rev. Microbiol.*, 2007, 61: 169-189.
- EDWARDS, Clive A.; BURROWS, Ian. Potential of earthworm composts as plant growth media. *Earthworms in waste and environmental management/edited by Clive A. Edwards and Edward F. Neuhauser*, 1988.
- EDWARDS, Clive A.; ARANCON, Norman Q.; GREYTAK, Scott. Effects of vermicompost teas on plant growth and disease. *Biocycle*, 2006, 47.5: 28.
- EDWARDS, Clive A.; BOHLEN, Patrick J. *Biology and ecology of earthworms*. Springer Science & Business Media, 1996.
- EDWARDS, Clive A.; DOMINGUEZ, Jorge; ARANCON, Norman Q. 18. The influence of vermicompost on plant growth and pest incidence. *Soil Zoology for Sustainable Development in the 21st century*. Cairo, 2004, 397-420.
- EINHELLIG, F. A. Mode of allelochemical action of phenolic compounds. *Allelopathy*, 2004, 217-238.
- ELVIRA, C., et al. Vermicomposting of sludges from paper mill and dairy industries with *Eisenia andrei*: a pilot-scale study. *Bioresource Technology*, 1998, 63.3: 205-211.
- FALAH, M. A. F., et al. Responses of root uptake to high temperature of tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in soil-less culture. *Journal of Agricultural Technology*, 2010, 6.3: 543-558.
- FATHIMA, Mujeera; SEKAR, Malathy. Studies on growth promoting effects of vermiwash on the germination of vegetable crops. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 2014, 3.6: 564-570.
- FLANIGEN, E. M. Use of natural zeolites in agriculture and aquaculture. *Zeo Agriculture (Pond WG, Mumpton FA, eds)*. Boulder C, 1984, 55-68.
- GAJALAKSHMI, S.; ABBASI, S. A. Earthworms and vermicomposting. 2004.
- GASHGARI, Raneem; ALHARBI, Khawlah; MUGHRBIL, Khadija; JAN, Ajwan; GLOLAM, Abeer. (2018). Comparison between Growing Plants in Hydroponic System and Soil Based System. 10.11159/icmie18.131.



GHOSH, M.; CHATTOPADHYAY, G. N.; BARAL, K. Transformation of phosphorus during vermicomposting. *Bioresource Technology*, 1999, 69.2: 149-154.

GIBEAUT, David M., et al. Maximal biomass of *Arabidopsis thaliana* using a simple, low-maintenance hydroponic method and favorable environmental conditions. *Plant Physiology*, 1997, 115.2: 317.

GÓRECKI, Ryszard S., et al. Utilization of waste wool as substrate amendment in pot cultivation of tomato, sweet pepper, and eggplant. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2010, 19.5: 1083-1087.

GUTIÉRREZ-MICELI, Federico Antonio, et al. Vermicomposting leachate as liquid fertilizer for the cultivation of sugarcane (*Saccharum* sp.). *Journal of Plant Nutrition*, 2017, 40.1: 40-49.

HANČ, A., PLÍVA, P. Vermikompostování bioodpadů, Certifikovaná metodika. Výzkumný ústav zemědělské techniky, v. v. i., Česká Zemědělská Univerzita v Praze,

HARDGRAVE, M. An evaluation of polyurethane foam as a reusable substrate for hydroponic cucumber production. In: *International Symposium on Growing Media & Plant Nutrition in Horticulture 401*. 1994. p. 201-208.

HEWITT, Eric John. *Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition*. Commonwealth Agricultural Bureaux, 1966.

HOAGLAND, D.R., ARNON, D.I.. (1938). The Water-Culture Method for Growing Plants Without Soil. California Agricultural Experimental Station Bulletin. 347.

HUSSAIN, Aatif, et al. A review on the science of growing crops without soil (Soilless Culture)-A novel alternative for growing crops. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 2014, 7.11: 833.

CHAUDHURI, P. S., et al. Chemical changes during vermicomposting (*Perionyx excavatus*) of kitchen wastes. *Tropical Ecology*, 2000, 41.1: 107-110.

CHAULAGAIN, Anon; DHURVA, P a GAUCHAN; LAMICHHANE, Janardan. (2017). Vermicompost and its Role in Plant Growth Promotion. *International Journal of Research*. 4.

CHOW, Y. N., et al. NEW EMERGING HYDROPONIC SYSTEM. In: *Symposium on Innovation and Creativity (iMIT-SIC)*. 2017. p. 1-4.

IQBAL, Noushina, et al. A new perspective of phytohormones in salinity tolerance: regulation of proline metabolism. *Environmental and Experimental Botany*, 2014, 100: 34-42.

ISMAIL, A. Vermicology: the biology of earthworms. *Orient Longman*, 1997.

JACKSON, Peter E. Ion chromatography in environmental analysis. *Encyclopedia of Analytical Chemistry: Applications, Theory and Instrumentation*, 2006.

KALE, Radha D. Earthworm: Cinderella of organic farming. *Prism*, 1998.

KANG, Jong-Goo; VAN IERSEL, Marc W. Nutrient solution concentration affects shoot: root ratio, leaf area ratio, and growth of subirrigated salvia (*Salvia splendens*). *HortScience*, 2004, 39.1: 49-54.

KAUSHIK, Priya; GARG, V. K. Vermicomposting of mixed solid textile mill sludge and cow dung with the epigeic earthworm *Eisenia foetida*. *Bioresource technology*, 2003, 90.3: 311-316.

KLUBALOVÁ, Kateřina. *Komunitní kompostování biologicky rozložitelného komunálního odpadu*. Praha, 2016. Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Ústav pro životní prostředí.

KRATKY, B. A. Three non-circulating hydroponic methods for growing lettuce. In: *International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics* 843. 2008. p. 65-72.

KRISHNAMOORTHY, R. V. Mineralization of phosphorus by faecal phosphatases of some earthworms of Indian tropics. *Proceedings: Animal Sciences*, 1990, 99.6: 509-518.

LE BAYON, Renée-Claire; BINET, Françoise. Earthworms change the distribution and availability of phosphorous in organic substrates. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38.2: 235-246.

LEE, Jun Gu; LEE, Byoung Yil; LEE, Hee Jae. Accumulation of phytotoxic organic acids in reused nutrient solution during hydroponic cultivation of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Scientia Horticulturae*, 2006, 110.2: 119-128.

LI, Kangmin; LI, Peizhen; LI, Hongtao. Earthworms helping economy, improving ecology and protecting health. *International Journal of Global Environmental Issues*, 2010, 10.3-4: 354-365.

LOMMEN, Willemien JM. The canon of potato science: 27. Hydroponics. *Potato Research*, 2007, 50.3-4: 315.

MANZOCCO, Lara, et al. Influence of hydroponic and soil cultivation on quality and shelf life of ready-to-eat lamb's lettuce (*Valerianella locusta* L. Laterr). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2011, 91.8: 1373-1380.

MARSCHNER, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants*, Academic Press, ISBN 0-12-473542-8, New York, USA

MAUCIERI, Carmelo, et al. Hydroponic systems and water management in aquaponics: A review. *Italian Journal of Agronomy*, 2018, 13.1/1012.

MAZUR, T.; MALICKI, M. Processing of fatty sludges into compost. *Zeszyty Probl. Post. Nauk Roln.* 409, 77, 1993

MCNEIL, Steven J.; SUNDERLAND, Matthew R.; ZAITSEVA, Larissa I. Closed-loop wool carpet recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, 2007, 51.1: 220-224.

Ministerstvo životního prostředí ČR (2014), Plán odpadového hospodářství ČR 2015-2024 dostupné ke dni 15.12.2018 z: <https://www.mzp.cz/>

NAGAVALLEMMMA, K. P., et al. Vermicomposting: Recycling wastes into valuable organic fertilizer. Global Theme on Agroecosystems Report no. 8. 2004.

NATH, Gorakh; SINGH, Keshav; SINGH, D. K. Chemical analysis of vermicomposts/vermiwash of different combinations of animal, agro and kitchen wastes. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2009, 3.4: 3672-3676.

NDEGWA, P. M.; THOMPSON, S. A.; DAS, K. C. Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids. *Bioresource technology*, 2000, 71.1: 5-12.

NEMALI, Krishna S.; VAN IERSEL, Marc W. Light intensity and fertilizer concentration: I. Estimating optimal fertilizer concentrations from water-use efficiency of wax begonia. *HortScience*, 2004, 39.6: 1287-1292.

PANT, A., et al. Effects of vermicompost tea (aqueous extract) on pak choi yield, quality, and on soil biological properties. *Compost Science & Utilization*, 2011, 19.4: 279-292.

PARDOSSI, A., et al. Fertigation and substrate management in closed soilless culture. *Pisa: University of Pisa*, 2011.

PARTHASARATHI, K., et al. Diversity of microflora in the gut and casts of tropical composting earthworms reared on different substrates. *Journal of environmental biology*, 2007, 28.1: 87-97.

PIOTROWSKA, Alicja; BAJGUZ, Andrzej. Conjugates of abscisic acid, brassinosteroids, ethylene, gibberellins, and jasmonates. *Phytochemistry*, 2011, 72.17: 2097-2112.

QUAIK, Shlrene, et al. Effect of vermiwash and vermicomposting leachate in hydroponics culture of Indian Borage (*Plectranthus ambionicus*) plantlets. In: *UMT 11th International Annual Symposium on Sustainability Science and Management*. 2012. p. 210-214.

QUAIK, Shlrene, et al. Potential of vermicomposting leachate as organic foliar fertilizer and nutrient solution in hydroponic culture: a review. In: *2nd International Conference on Environment and BioScience*. 2012. p. 43-47.

QUAIK, Shlrene; HOSSAIN, Kaizar; IBRAHIM, Mahamad Hakimi. Research Article Vermicomposting Derived Liquids: Fertigation Potential in Urban Farming. *Int. J. Agric. Res*, 2016, 11: 135-142.

RESH, Howard M. Hydroponic food production: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower. *CRC Press*, 2016.

SAKAKIBARA, Hitoshi. Cytokinins: activity, biosynthesis, and translocation. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 2006, 57: 431-449.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. Plant Physiology, 682 Belmont, CA: Wadsworth Publ. 1992.

SAMARAKOON, U. C.; WEERASINGHE, P. A.; WEERAKKODY, W. A. P. Effect of electrical conductivity (EC) of the nutrient solution on nutrient uptake, growth and yield of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) in stationary culture. 2006.

- SAVVAS, Dimitrios. Hydroponics: A modern technology supporting the application of integrated crop management in greenhouse. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 2003, 1: 80-86.
- SINGH, Rajbir, et al. Sequential foliar application of vermicompost leachates improves marketable fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria× ananassa* Duch.). *Scientia Horticulturae*, 2010, 124.1: 34-39.
- SINGH, S.; SINGH, B. S. Hydroponics—A technique for cultivation of vegetables and medicinal plants. In: *Proceedings of 4th Global conference on Horticulture for Food, Nutrition and Livelihood Options. Bhubaneshwar, Odisha, India. 2012. p. 220.*
- SMOLEŃ, Sylwester; KOWALSKA, Iwona; SADY, Włodzimierz. Assessment of biofortification with iodine and selenium of lettuce cultivated in the NFT hydroponic system. *Scientia Horticulturae*, 2014, 166: 9-16.
- SONNEVELD, C.; VOOGT, W. (2009). *Plant Nutrition of Greenhouse Crops*, Springer, ISBN 9048125316, New York, USA.
- STEINER, Abram A. *Soilless culture*. [sn], 1968.
- SUTHAR, Surendra. Nutrient changes and biodynamics of epigeic earthworm *Perionyx excavatus* (Perrier) during recycling of some agriculture wastes. *Bioresource technology*, 2007, 98.8: 1608-1614.
- TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo. *Plant Physiology*, Sinauer Associates. 2002.
- TANJII, Kenneth K. *Agricultural salinity assessment and management*. 1990.
- THEUNISSEN, J.; NDAKIDEMI, P. A.; LAUBSCHER, C. P. Potential of vermicompost produced from plant waste on the growth and nutrient status in vegetable production. *International Journal of Physical Sciences*, 2010, 5.13: 1964-1973.
- TOMATI, U.; GRAPPELLI, A.; GALLI, E. The hormone-like effect of earthworm casts on plant growth. *Biology and Fertility of Soils*, 1988, 5.4: 288-294.
- TOMATI, U.; GRAPPELLI, A.; GALLI, E. The hormone-like effect of earthworm casts on plant growth. *Biology and Fertility of Soils*, 1988, 5.4: 288-294.
- TREJO-TÉLLEZ, Libia I.; GÓMEZ-MERINO, Fernando C. Nutrient solutions for hydroponic systems. In: *Hydroponics-A Standard Methodology for Plant Biological Researches*. InTech, 2012.
- TYSON, R. V., et al. Effect of nutrient solution, nitrate-nitrogen concentration, and pH on nitrification rate in perlite medium. *Journal of plant nutrition*, 2007, 30.6: 901-913.
- WARBURTON, Kev; PILLAI-MCGARRY, Usha; RAMAGE, Deborah. *Integrated biosystems for sustainable development*. 2002.
- YASIR, Muhammad, et al. Bacterial community composition and chitinase gene diversity of vermicompost with antifungal activity. *Bioresource Technology*, 2009, 100.19: 4396-4403.

YEAGER, T.H., FARE, D., LEA-COX, J., RUTER, J., BILDERBACK, T.E., GILLIAM, C.H., NIEMIERA, A.X., WARREN, S.L., WHITWELL, T.E., WRIGHT, R.D., TILT, K.M. (2007). Best management practices: guide for producing container-grown plants. 2nd ed. Southern Nurserymen's Association, Mareta, GA.

ZANDONADI, Daniel Basílio; CANELLAS, Luciano Pasqualoto; FAÇANHA, Arnaldo Rocha. Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasmalemma and tonoplast H<sup>+</sup> pumps activation. *Planta*, 2007, 225.6: 1583-1595.

ZHANG, Bao-Gui, et al. Changes in microbial biomass C, N, and P and enzyme activities in soil incubated with the earthworms *Metaphire guillelmi* or *Eisenia fetida*. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32.14: 2055-2062.

web 1 - KOKOZA, o.p.s., Mapujeme komunity, dostupné ke dni 15.12.2018 z: <https://www.mapko.cz/>

web 2 – Ústav zemědělské ekonomiky a informací, Databáze složení potravin České republiky, dostupné ke dni 15.12.2018 z: <https://www.nutridatabaze.cz/>

## **Přílohy**

### **Seznam příloh:**

Příloha 1: *Eisenia andrei* a *Eisenia fetida*

Příloha 2: Schématické znázornění domácího vermikompostéru

Přílohy 3: Typy hydroponických systémů

Příloha 4: Analyzátor FORMACS<sup>HT</sup> TOC/TN, Iontový chromatograf Thermo Scientific<sup>TM</sup>

Příloha 5: Ekotoxikologický test na semenech hořčice bílé

Příloha 6: Sazenice salátu setého po 4 týdnech od nasetí do půdního substrátu

Příloha 7: Salát setý po přesazení do hydroponického systému

Příloha 8: Salát setý týden po přesazení do hydroponického systému

Příloha 9: Salát setý 14 dní od přesazení do hydroponického systému

Příloha 10: Salát setý 14 dní od přesazení do hydroponického systému

Příloha 11: Salát setý po ukončení pokusu po 3 týdnech od přesazení do hydroponického systému

Příloha 12: Salát setý po ukončení pokusu 3 týdny od přesazení do hydroponického systému

Příloha 13: Salát setý po ukončení pokusu 3 týdny od přesazení do hydroponického systému

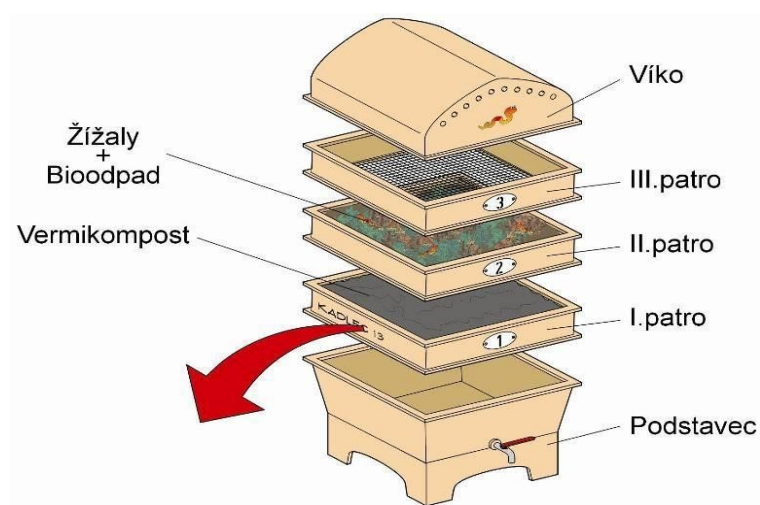
Příloha 14: Salát setý po vytažení ze substrátu po ukončení pokusu 3 týdny od přesazení do hydroponického systému

Příloha 15 – Tabulka č. 17, Tabulka č. 19, Tabulka č. 20, Obr. 14, Obr. 15

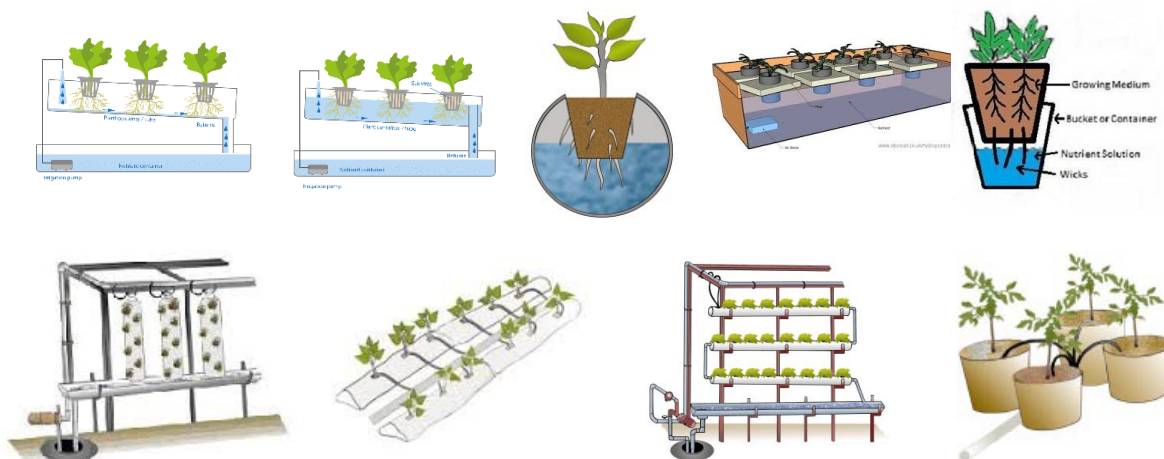
Příloha 16 – Tabulka č. 21, Tabulka č. 22



**Příloha 1:** *Eisenia andrei* (vlevo) a *Eisenia fetida* (vpravo)  
(<https://solanacompost.wordpress.com/tag/eisenia-andrei/>)



**Příloha 2:** Schématické znázornění domácího vermikompostéru  
[Hanč a Plíva, 2013]

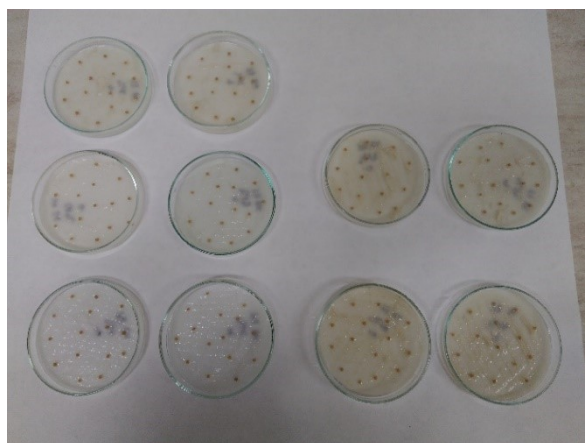


**Příloha 3:** Zleva nahoře: “Nutrient film“ metoda, “Deep flow“ metoda (<https://www.hydroponic-urban-gardening.com>), “Root dipping“ metoda (<http://ejournal.stikesmucis.ac.id/assets/dokumen/Hydroponics.pdf>), “Floating“ metoda, (<http://hydroponicplant.blogspot.com/2011/12/hydroponic-plant-techniques.html>), “Capillary Action“ metoda (<http://www.hydroponicfarmingtips.com/topics/hydroponic-systems/hydroponic-wick-system/>), “Hanging bag“ metoda, “Grow bag“ metoda, “Trench or trough“ metoda, “Pot“ metoda (<http://ejournal.stikesmucis.ac.id/assets/dokumen/Hydroponics.pdf>)



**Příloha 4:** Analyzátor FORMACS<sup>HT</sup> TOC/TN (vlevo) a Iontový chromatograf Thermo Scientific<sup>TM</sup> Dionex<sup>TM</sup> ICS-5000<sup>+</sup> (vpravo)





**Příloha 5:** Ekotoxikologický test na semenech hořčice bílé.



**Příloha 6:** Sazenice salátu setého po 4 týdnech od nasetí do půdního substrátu.



**Příloha 7:** Salát setý po přesazení do hydroponického systému.



**Příloha 8:** Salát setý týden po přesazení do hydroponického systému





**Příloha 9:** Salát setý 14 dní od přesazení do hydroponického systému (nejblíže: worm tea+minerální vata, Hoagland+ovčí vlna, worm tea+ovčí vlna, voda+minerální vata, Hoagland+minerální voda)



**Příloha 10:** Salát setý 14 dní od přesazení do hydroponického systému (zleva: Hoaglandův roztok, worm tea, voda)



**Příloha 11:** Salát setý po ukončení pokusu po 3 týdnech od přesazení do hydroponického systému (zleva: worm tea+minerální vata, Hoagland+ovčí vlna, worm tea+ovčí vlna, voda+minerální vata, Hoagland+minerální voda)



**Příloha 12:** Salát setý po ukončení pokusu 3 týdny od přesazení do hydroponického systému (zleva: Hoaglandův roztok, worm tea, voda)





**Příloha 13:** Salát setý po ukončení pokusu 3 týdny od přesazení do hydroponického systému (zleva: Hoagland+minerální vata, Hoagland+ovčí vlna, worm tea+ovčí vlna, worm tea+minerální vata, voda+minerální vata)



**Příloha 14:** Salát setý po vytažení ze substrátu po ukončení pokusu 3 týdny od přesazení do hydroponického systému (zleva: Hoagland+ovčí vlna, Hoagland+minerální vata, worm tea+ovčí vlna, worm tea+minerální vata, voda+minerální vata)

**Příloha 15** – Tabulka č. 17, Tabulka č. 19, Tabulka č. 20, Obr. 14, Obr. 15

Tabulka č. 17: Průměrné délky kořínků [cm] se směrodatnou odchylkou (SD) po 72 hodinách kultivace v kontrole (destilované vodě) a ve vzorcích worm tea naředěných na 2,5; 5,0; 7,5; 10,0 % (v/v).

| Číslo vzorku | Koncentrace % (v/v) |             |             |             |             |
|--------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|              | kontrola            | 2,5 %       | 5 %         | 7,5 %       | 10 %        |
| 1            | 1,8 ± 0,1           | 3,0 ± 0,9 * | 2,9 ± 0,4 * | 2,3 ± 0,5   | 2,2 ± 0,0   |
| 2            | 2,3 ± 0,4           | 2,5 ± 0,1   | 3,0 ± 0,1   | 2,2 ± 0,2   | 2,3 ± 0,1   |
| 3            | 4,0 ± 0,4           | 4,5 ± 0,1   | 4,2 ± 0,4   | 3,6 ± 0,1   | 2,8 ± 0,1*  |
| 4            | 2,7 ± 1,0           | 2,9 ± 0,2   | 3,2 ± 0,9   | 2,7 ± 0,6   | 2,4 ± 0,3   |
| 5            | 2,6 ± 0,1           | 2,9 ± 0,4   | 2,8 ± 0,0   | 3,8 ± 0,2*  | 3,3 ± 0,9   |
| 6            | 2,3 ± 0,1           | 3,1 ± 0,9   | 3,2 ± 0,3 * | 3,0 ± 0,6   | 2,9 ± 0,3   |
| 7            | 1,6 ± 0,1           | 2,8 ± 1,1   | 2,6 ± 0,4*  | 3,2 ± 0,2*  | 2,5 ± 0,1 * |
| 8            | 1,2 ± 0,3           | 3,3 ± 0,9*  | 3,8 ± 0,0 * | 3,0 ± 0,4 * | 2,9 ± 0,3 * |
| 9            | 2,6 ± 0,1           | 3,8 ± 0,4 * | 3,5 ± 0,1 * | 3,4 ± 0,5 * | 2,7 ± 0,7   |
| 10           | 2,4 ± 0,3           | 3,1 ± 0,7   | 2,9 ± 0,1   | 2,5 ± 0,6   | 2,1 ± 0,1   |
| 11           | 3,2 ± 0,0           | 1,6 ± 0,4 * | 1,6 ± 0,1 * | 1,5 ± 0,1*  | 1,5 ± 0,1*  |
| 12           | 2,2 ± 0,4           | 3,5 ± 0,1 * | 3,3 ± 0,6 * | 3,4 ± 0,4 * | 3,3 ± 0,4 * |
| 13           | 2,4 ± 0,9           | 3,1 ± 0,6   | 4,0 ± 0,9   | 4,0 ± 0,4 * | 3,4 ± 0,1   |
| 14           | 2,9 ± 0,2           | 3,8 ± 0,6 * | 4,3 ± 0,1 * | 3,2 ± 0,6   | 2,5 ± 0,1   |
| 15           | 3,0 ± 0,3           | 4,3 ± 0,9 * | 3,3 ± 0,4   | 3,5 ± 0,8   | 2,9 ± 0,1   |
| 16           | 2,2 ± 0,3           | 2,8 ± 0,0   | 3,5 ± 0,4 * | 2,8 ± 0,4   | 2,6 ± 0,5   |
| 17           | 2,8 ± 0,2           | 3,7 ± 0,4 * | 2,9 ± 0,6   | 2,8 ± 0,6   | 2,8 ± 0,6   |
| 18           | 2,7 ± 0,5           | 2,8 ± 0,1   | 2,4 ± 0,7   | 2,8 ± 0,1   | 2,8 ± 0,5   |
| 19           | 2,7 ± 0,4           | 2,7 ± 0,0   | 3,0 ± 0,6   | 3,4 ± 0,0 * | 2,0 ± 0,4   |
| 20           | 2,3 ± 0,4           | 3,3 ± 0,2 * | 3,3 ± 0,6   | 3,3 ± 0,0 * | 2,5 ± 0,4   |
| 21           | 2,5 ± 0,5           | 3,1 ± 0,3   | 3,5 ± 0,6   | 3,8 ± 0,0 * | 3,0 ± 0,1   |
| 22           | 1,5 ± 0,1           | 2,0 ± 0,2   | 3,0 ± 0,3 * | 2,9 ± 0,1*  | 2,6 ± 0,0 * |
| 23           | 1,8 ± 0,8           | 3,8 ± 0,0 * | 3,3 ± 0,1 * | 2,8 ± 0,4   | 2,7 ± 0,1   |
| 24           | 2,1 ± 0,6           | 2,3 ± 0,1   | 2,2 ± 0,1   | 1,8 ± 0,0   | 1,3 ± 0,1*  |
| 25           | 2,5 ± 0,6           | 3,5 ± 0,4 * | 3,1 ± 0,6   | 3,3 ± 0,1 * | 3,2 ± 0,6   |
| 26           | 2,7 ± 0,4           | 3,4 ± 0,4 * | 2,9 ± 0,1   | 2,8 ± 0,2   | 2,5 ± 0,4   |
| 27           | 2,7 ± 1,0           | 3,4 ± 0,4   | 3,4 ± 0,0   | 3,1 ± 0,4   | 2,5 ± 0,0   |
| 28           | 2,4 ± 0,1           | 3,1 ± 0,1 * | 3,5 ± 0,2 * | 2,8 ± 0,1   | 1,7 ± 0,1*  |
| 29           | 2,2 ± 0,1           | 3,3 ± 0,4 * | 3,2 ± 0,3 * | 3,2 ± 0,6*  | 2,7 ± 0,1   |
| 30           | 3,0 ± 0,1           | 3,1 ± 0,7   | 3,7 ± 0,5   | 3,5 ± 0,1   | 3,5 ± 0,6   |
| 31           | 2,8 ± 0,2           | 3,4 ± 0,3   | 3,8 ± 0,4 * | 3,8 ± 0,4*  | 3,0 ± 0,2   |
| 32           | 3,3 ± 0,1           | 3,8 ± 0,3   | 3,5 ± 0,71  | 3,5 ± 0,1   | 3,5 ± 0,5   |
| 33           | 3,4 ± 0,1           | 3,9 ± 1,2   | 4,2 ± 1,1   | 3,1 ± 0,9   | 2,7 ± 0,1   |
| 34           | 2,3 ± 0,4           | 4,2 ± 0,3 * | 4,5 ± 0,1 * | 4,7 ± 0,6*  | 4,7 ± 0,4*  |

\* Statisticky významný rozdíl oproti kontrole (p<0,05), Dvouvýběrový test s náhodnými efekty

Tabulka č. 19: Průměrné délky kořínků [cm] hořčice bílé se směrodatnou odchylkou (SD) po 72 hodinách kultivace v kontrole (destilované vodě) a ve vzorcích worm tea naředěných na stejnou konduktivitu  $6,3 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$  a následně naředěných na koncentraci 2,5; 5,0; 7,5; 10,0 % (v/v).

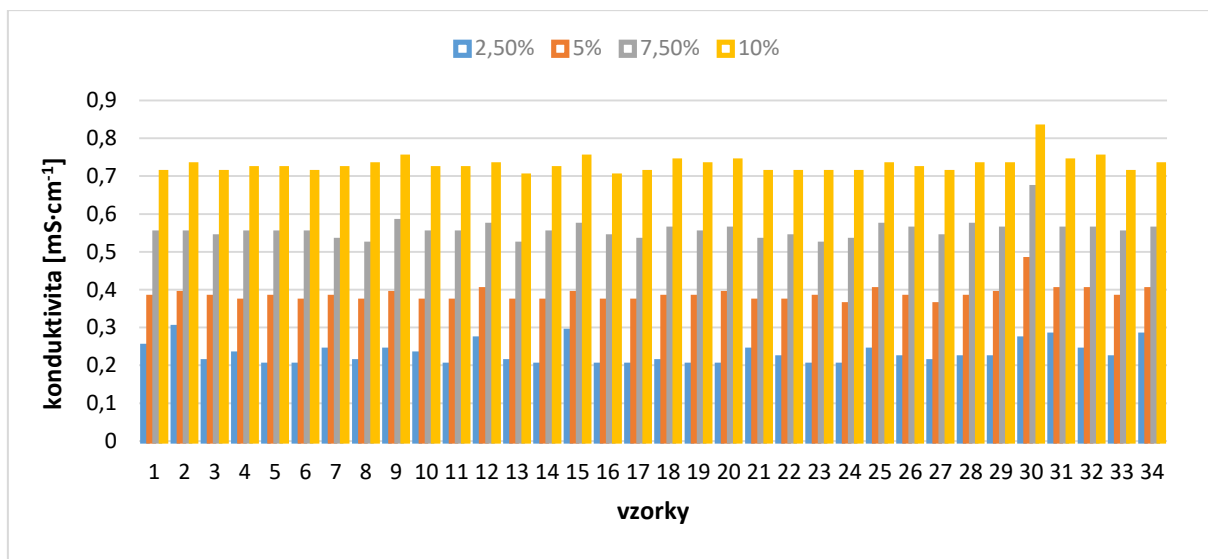
| Číslo vzorku | Koncentrace % (v/v) |              |             |             |             |
|--------------|---------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
|              | kontrola            | 2,5 %        | 5 %         | 7,5 %       | 10 %        |
| 1            | 2,6 ± 0,4           | 3,3 ± 0,1    | 3,4 ± 0,0   | 3,2 ± 1,0   | 3,1 ± 0,3   |
| 2            | 2,8 ± 0,4           | 3,5 ± 0,5    | 3,0 ± 0,5   | 3,0 ± 0,0   | 3,8 ± 0,2 * |
| 3            | 2,5 ± 0,1           | 3,7 ± 0,4 *  | 3,4 ± 0,7   | 3,5 ± 0,6 * | 3,5 ± 0,2 * |
| 4            | 2,8 ± 0,8           | 3,5 ± 0,1    | 4,0 ± 0,1 * | 3,2 ± 0,4   | 3,5 ± 0,9 * |
| 5            | 3,0 ± 0,2           | 2,2 ± 0,6    | 2,4 ± 0,1   | 2,1 ± 0,8   | 1,9 ± 0,2 * |
| 6            | 3,2 ± 0,8           | 3,9 ± 0,2    | 3,3 ± 0,1   | 4,1 ± 0,3   | 2,7 ± 1,0   |
| 7            | 2,7 ± 0,2           | 3,4 ± 0,2 *  | 3,7 ± 0,4 * | 3,8 ± 0,0 * | 3,3 ± 0,3 * |
| 8            | 2,9 ± 0,3           | 3,6 ± 0,1    | 3,9 ± 0,3 * | 3,9 ± 0,7   | 3,2 ± 0,1   |
| 9            | 3,1 ± 0,2           | 4,0 ± 0,07 * | 3,9 ± 0,2 * | 3,7 ± 1,2   | 3,9 ± 0,3 * |
| 10           | 3,3 ± 0,1           | 4,0 ± 0,3    | 3,8 ± 1,0   | 3,7 ± 0,2   | 3,4 ± 0,5   |
| 11           | 2,9 ± 0,5           | 3,0 ± 0,4    | 3,0 ± 0,1   | 3,3 ± 0,0   | 2,8 ± 0,1   |
| 12           | 2,7 ± 0,2           | 3,6 ± 0,2 *  | 3,4 ± 0,3   | 2,8 ± 0,1   | 3,2 ± 0,5   |
| 13           | 3,2 ± 0,7           | 4,7 ± 0,4 *  | 3,7 ± 0,3   | 3,3 ± 0,5   | 3,3 ± 0,2   |
| 14           | 2,1 ± 0,4           | 3,9 ± 0,1 *  | 4,0 ± 0,5 * | 4,6 ± 0,3 * | 3,5 ± 1,0   |
| 15           | 2,3 ± 0,1           | 4,0 ± 0,2 *  | 3,9 ± 0,5 * | 4,6 ± 0,3 * | 3,8 ± 0,6 * |
| 16           | 2,6 ± 0,1           | 4,3 ± 0,4 *  | 3,6 ± 0,5 * | 4,0 ± 0,1 * | 3,8 ± 0,1 * |
| 17           | 2,4 ± 0,1           | 4,2 ± 0,9 *  | 3,7 ± 0,4 * | 3,4 ± 0,3 * | 3,6 ± 0,6 * |
| 18           | 2,1 ± 0,5           | 2,5 ± 0,5    | 3,5 ± 0,3 * | 3,6 ± 0,5 * | 3,4 ± 0,6 * |
| 19           | 3,0 ± 0,3           | 3,5 ± 0,6    | 3,7 ± 1,0   | 4,0 ± 0,5 * | 3,8 ± 0,6   |
| 20           | 2,4 ± 1,0           | 4,0 ± 0,2 *  | 4,3 ± 0,3 * | 4,3 ± 1,1   | 3,9 ± 0,2 * |
| 21           | 2,6 ± 0,1           | 3,3 ± 0,1    | 3,5 ± 0,0 * | 4,3 ± 0,4 * | 3,0 ± 0,6   |
| 22           | 2,8 ± 0,1           | 3,5 ± 0,7    | 3,4 ± 0,0   | 3,8 ± 0,3 * | 3,6 ± 0,5 * |
| 23           | 3,3 ± 0,6           | 4,1 ± 0,2 *  | 4,1 ± 0,1   | 3,8 ± 0,4   | 4,1 ± 0,5   |
| 24           | 3,0 ± 0,9           | 2,9 ± 0,1    | 3,4 ± 0,9   | 3,1 ± 1,1   | 2,6 ± 0,2   |
| 25           | 2,1 ± 0,9           | 3,7 ± 0,0 *  | 3,6 ± 0,0 * | 3,5 ± 0,4 * | 3,4 ± 0,4   |
| 26           | 2,7 ± 0,1           | 3,9 ± 0,6 *  | 3,1 ± 0,7   | 3,9 ± 0,9   | 4,3 ± 0,0 * |
| 27           | 2,6 ± 0,2           | 3,4 ± 0,4    | 3,4 ± 0,8   | 3,2 ± 0,1   | 3,5 ± 0,4   |
| 28           | 2,8 ± 0,2           | 4,6 ± 0,6 *  | 4,2 ± 0,5 * | 4,3 ± 0,6 * | 3,9 ± 0,4 * |
| 29           | 2,2 ± 0,5           | 3,8 ± 0,8 *  | 4,2 ± 0,6 * | 3,8 ± 0,8 * | 4,3 ± 0,1 * |
| 30           | 3,0 ± 1,0           | 2,7 ± 0,7    | 3,9 ± 0,4   | 3,6 ± 0,8   | 4,1 ± 0,3   |
| 31           | 1,6 ± 0,1           | 2,0 ± 0,5    | 2,7 ± 0,2 * | 3,2 ± 0,1 * | 3,9 ± 0,5 * |
| 32           | 1,5 ± 0,2           | 1,8 ± 0,1    | 3,4 ± 0,1 * | 3,5 ± 1,0 * | 4,1 ± 0,0 * |
| 33           | 2,3 ± 0,8           | 2,8 ± 0,7    | 2,8 ± 1,4   | 3,1 ± 0,1   | 3,7 ± 0,0 * |
| 34           | 2,6 ± 1,1           | 4,1 ± 0,5    | 4,8 ± 0,2 * | 4,3 ± 0,7   | 3,5 ± 0,1   |

\* Statisticky významný rozdíl oproti kontrole ( $p < 0,05$ ), dvouvýběrový test s náhodnými efekty

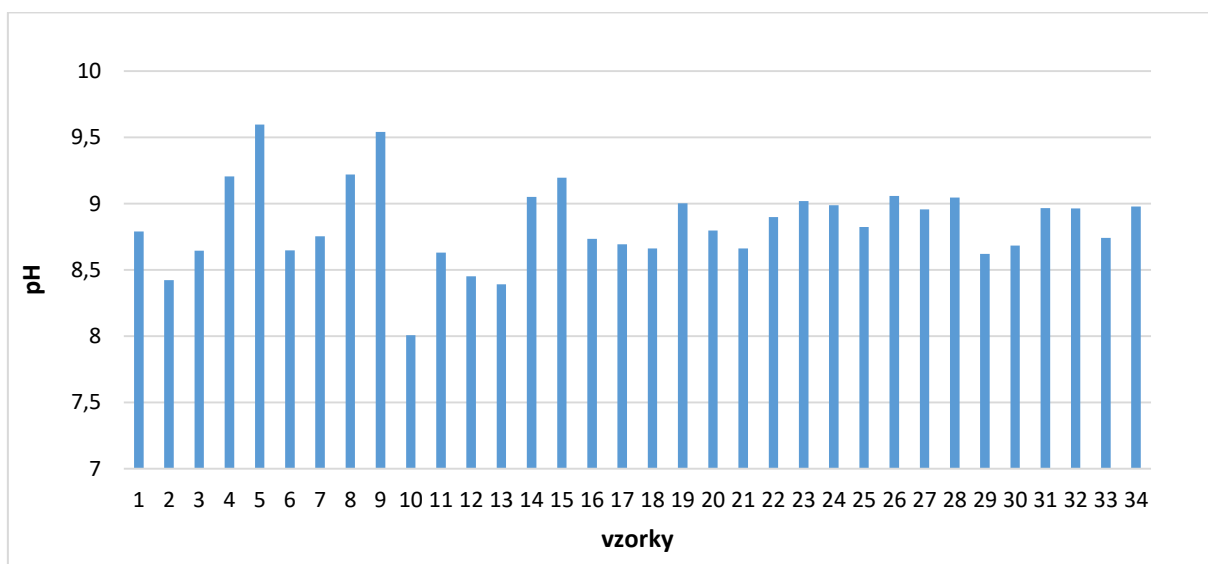
Tabulka č. 20: Hodnoty relativní inhibice [%] klíčení a růstu kořínků semen hořčice bílé se směrodatnou odchylkou (SD) u vzorků worm tea naředěných na stejnou konduktivitu 6,3 mS·cm<sup>-1</sup> a následně naředěných na koncentraci 2,5; 5,0; 7,5; 10 % (v/v). Záporné hodnoty inhibice znamenají stimulaci. Žlutá pole znamenají stimulaci, modrá pole inhibici nebo nulovou odezvu ve srovnání s kontrolou.

| Číslo vzorku | Koncentrace % (v/v) |                |                |                |
|--------------|---------------------|----------------|----------------|----------------|
|              | 2,50 %              | 5 %            | 7,50 %         | 10 %           |
| 1            | -28,85 ± 2,7        | -28,85 ± 2,7   | -25 ± 40,8     | -19,23 ± 10,9  |
| 2            | -26,79 ± 17,7       | -5,36 ± 17,7   | -7,14 ± 0,0    | -33,93 ± 7,6   |
| 3            | -46 ± 14,1          | -38 ± 31,1     | -42 ± 25,5     | -40 ± 5,7      |
| 4            | -25 ± 5,1           | -41,08 ± 2,5   | -16,07 ± 12,6  | -25 ± 30,3     |
| 5            | 26,67 ± 18,9        | 20 ± 4,7       | 30 ± 28,3      | 36,67 ± 4,7    |
| 6            | -21,88 ± 4,4        | -1,57 ± 2,2    | -26,57 ± 11,1  | 15,63 ± 30,9   |
| 7            | -27,78 ± 7,9        | -38,89 ± 13,1  | -38,89 ± 2,6   | -22,23 ± 10,5  |
| 8            | -22,42 ± 2,4        | -34,49 ± 9,8   | -34,48 ± 24,4  | -12,07 ± 2,4   |
| 9            | -29,03 ± 22,8       | -25,81 ± 4,6   | -20,97 ± 38,8  | -24,2 ± 11,4   |
| 10           | -22,73 ± 10,7       | -15,15 ± 30,0  | -10,61 ± 6,4   | -3,03 ± 12,9   |
| 11           | -3,44 ± 12,2        | -1,73 ± 2,4    | -13,79 ± 0,0   | 3,46 ± 4,89    |
| 12           | -35,19 ± 7,9        | -24,08 ± 7,9   | -3,71 ± 5,2    | -20,37 ± 18,3  |
| 13           | -46,88 ± 13,3       | -17,19 ± 11,1  | -4,69 ± 15,5   | -4,69 ± 6,6    |
| 14           | -85,72 ± 6,7        | -90,48 ± 20,2  | -119,05 ± 13,5 | -69,05 ± 50,5  |
| 15           | -73,92 ± 6,1        | -139,13 ± 24,6 | -102,17 ± 15,4 | -63,05 ± 27,7  |
| 16           | -67,31 ± 13,6       | -36,54 ± 19,0  | -51,93 ± 2,7   | -46,16 ± 5,4   |
| 17           | -72,92 ± 38,3       | -56,25 ± 14,7  | -41,67 ± 11,8  | -50 ± 23,6     |
| 18           | -21,43 ± 23,6       | -69,05 ± 10,1  | -71,43 ± 26,9  | -64,29 ± 30,3  |
| 19           | -16,67 ± 18,9       | -23,34 ± 33,0  | -31,67 ± 16,5  | -28,33 ± 21,2  |
| 20           | -64,58 ± 8,8        | -79,17 ± 11,8  | -79,17 ± 47,1  | -60,42 ± 8,8   |
| 21           | -25 ± 2,7           | -36,54 ± 2,7   | -63,46 ± 19,0  | -13,46 ± 24,5  |
| 22           | -25 ± 25,3          | -21,43 ± 5,1   | -33,93 ± 12,6  | -30,36 ± 17,7  |
| 23           | -25,76 ± 6,4        | -24,24 ± 4,3   | -15,15 ± 12,9  | -22,73 ± 15,0  |
| 24           | 3,34 ± 4,7          | -13,33 ± 28,3  | -1,67 ± 35,4   | 15 ± 7,1       |
| 25           | -76,19 ± 0,0        | -69,05 ± 3,4   | -64,29 ± 16,8  | -59,53 ± 16,8  |
| 26           | -44,45 ± 21,0       | -14,82 ± 26,2  | -44,45 ± 31,4  | -59,26 ± 0,0   |
| 27           | -32,7 ± 13,6        | -30,77 ± 32,6  | -23,08 ± 5,4   | -34,62 ± 10,9  |
| 28           | -66,07 ± 22,7       | -48,21 ± 17,7  | -55,36 ± 22,7  | -39,29 ± 15,2  |
| 29           | -75 ± 35,4          | -93,19 ± 28,9  | -72,73 ± 38,6  | -97,73 ± 3,2   |
| 30           | 8,33 ± 21,2         | -30 ± 14,1     | -18,34 ± 25,9  | -36,67 ± 9,4   |
| 31           | -28,13 ± 30,9       | -68,75 ± 17,7  | -100 ± 8,8     | -146,88 ± 30,9 |
| 32           | -20 ± 9,4           | -126,67 ± 9,4  | -133,34 ± 66,0 | -173,33 ± 0,0  |
| 33           | -21,74 ± 30,8       | -21,74 ± 61,5  | -36,96 ± 3,1   | -60,87 ± 0,0   |
| 34           | -50 ± 18,3          | -77,78 ± 5,2   | -59,26 ± 26,2  | -29,63 ± 5,2   |





Obr. 14: Hodnoty konduktivity [ $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ ] u vzorků worm tea naředěných na stejnou konduktivitu  $6,3 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$  a následně na koncentrační řadu 2,5; 5,0; 7,5; 10,0 % (v/v)



Obr. 15: Hodnoty pH u vzorků worm tea naředěných na stejnou konduktivitu  $6,3 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

**Příloha 16** – Tabulka č. 21, Tabulka č. 22, Obr. 16

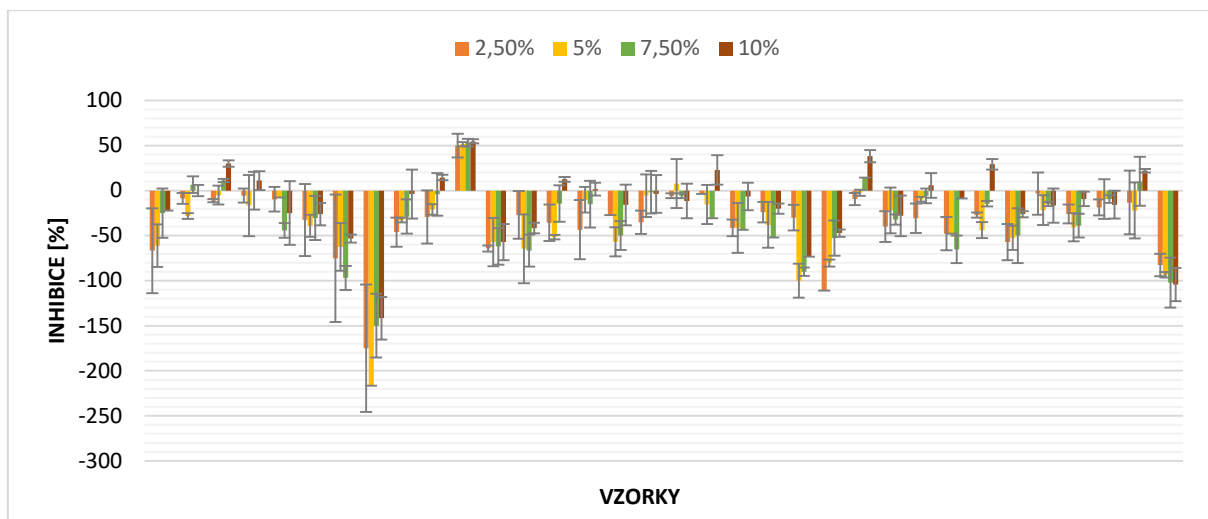
Tabulka č. 21: Koncentrace kationtů [ppm] ve 34 vzorcích worm tea.

| Číslo vzorku | <i>Kationt [ppm]</i>  |                                   |                      |                        |                        |
|--------------|-----------------------|-----------------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|
|              | <i>Na<sup>+</sup></i> | <i>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></i> | <i>K<sup>+</sup></i> | <i>Mg<sup>2+</sup></i> | <i>Ca<sup>2+</sup></i> |
| 1            | 106,9                 | 5,0                               | 2024,8               | 13,8                   | 24,3                   |
| 2            | 235,1                 | 249,7                             | 2944,8               | 18,2                   | 31,0                   |
| 3            | 616,8                 | 96,5                              | 4179,2               | 43,6                   | 110,7                  |
| 4            | 331,3                 | 2,8                               | 4105,1               | 89,0                   | 26,9                   |
| 5            | 37,3                  | 0,9                               | 1023,1               | 40,6                   | 60,2                   |
| 6            | 270,5                 | 233,5                             | 4522,9               | 60,0                   | 85,0                   |
| 7            | 328,7                 | 65,8                              | 2839,7               | 81,7                   | 154,3                  |
| 8            | 242,0                 | 28,6                              | 4992,7               | 93,0                   | 100,9                  |
| 9            | 338,0                 | 12,5                              | 8844,8               | 124,7                  | 289,2                  |
| 10           | 237,3                 | 79,2                              | 2863,1               | 46,9                   | 67,6                   |
| 11           | 371,4                 | 1,8                               | 3705,2               | 86,0                   | 106,3                  |
| 12           | 140,5                 | 225,6                             | 3640,9               | 32,1                   | 29,0                   |
| 13           | 235,6                 | 6,8                               | 3175,1               | 169,9                  | 129,6                  |
| 14           | 130,5                 | 2,6                               | 3223,9               | 76,4                   | 78,3                   |
| 15           | 158,2                 | 5,0                               | 2956,1               | 54,7                   | 53,2                   |
| 16           | 126,0                 | 1,6                               | 3482,0               | 71,4                   | 68,6                   |
| 17           | 240,3                 | 1,7                               | 3580,7               | 56,4                   | 72,2                   |
| 18           | 289,2                 | 2,7                               | 2413,6               | 84,3                   | 75,8                   |
| 19           | 171,8                 | 72,0                              | 3826,5               | 77,2                   | 136,9                  |
| 20           | 301,4                 | 68,6                              | 5001,6               | 239,8                  | 464,0                  |
| 21           | 490,6                 | 77,7                              | 3697,0               | 63,1                   | 110,3                  |
| 22           | 417,6                 | 2,8                               | 3984,4               | 88,3                   | 109,6                  |
| 23           | 192,1                 | 1,1                               | 2208,2               | 41,6                   | 35,2                   |
| 24           | 316,2                 | 1,5                               | 3878,7               | 34,6                   | 34,2                   |
| 25           | 94,5                  | 35,3                              | 2871,4               | 95,4                   | 90,3                   |
| 26           | 383,1                 | 51,6                              | 4723,7               | 53,1                   | 74,5                   |
| 27           | 134,7                 | 166,8                             | 2655,7               | 0,5                    | 79,6                   |
| 28           | 251,4                 | 1,6                               | 4305,5               | 99,1                   | 82,6                   |
| 29           | 199,5                 | 12,0                              | 2649,6               | 247,0                  | 134,7                  |
| 30           | 98,9                  | 0,3                               | 1522,3               | 71,8                   | 113,2                  |
| 31           | 367,5                 | 2,4                               | 4382,7               | 86,0                   | 86,0                   |
| 32           | 263,9                 | 1,7                               | 2831,8               | 65,4                   | 106,4                  |
| 33           | 247,4                 | 2,3                               | 4014,9               | 123,0                  | 199,0                  |
| 34           | 266,2                 | 1,6                               | 3854,6               | 99,5                   | 155,3                  |

Tabulka č. 22: Koncentrace aniontů [ppm] ve 34 vzorcích worm tea.

| Číslo vzorku | <i>Aniont [ppm]</i> |          |             |             |          |
|--------------|---------------------|----------|-------------|-------------|----------|
|              | $Cl^-$              | $NO_3^-$ | $PO_4^{3-}$ | $SO_4^{2-}$ | $NO_2^-$ |
| 1            | 456,8               | 85,1     | 164,0       | 62,1        | n.a.     |
| 2            | 554,6               | 129,9    | 166,6       | 149,7       | 68,9     |
| 3            | 1789,2              | n.a.     | 269,8       | 327,2       | n.a.     |
| 4            | 1273,5              | n.a.     | n.a.        | 243,7       | n.a.     |
| 5            | 272,7               | n.a.     | n.a.        | 92,8        | 4,9      |
| 6            | 1211,9              | n.a.     | n.a.        | 66,8        | n.a.     |
| 7            | 740,2               | n.a.     | 183,9       | 204,7       | n.a.     |
| 8            | 1037,1              | 139,1    | 217,3       | 209,0       | 5,1      |
| 9            | 1954,4              | n.a.     | 239,4       | 1358,8      | n.a.     |
| 10           | 715,3               | n.a.     | 221,0       | 180,7       | n.a.     |
| 11           | 950,2               | 2140,6   | 195,8       | 630,5       | n.a.     |
| 12           | 914,9               | n.a.     | n.a.        | 382,7       | n.a.     |
| 13           | 840,4               | 64,0     | 419,0       | 84,8        | n.a.     |
| 14           | 520,6               | n.a.     | 206,3       | 126,9       | n.a.     |
| 15           | 558,3               | n.a.     | 152,9       | 58,8        | n.a.     |
| 16           | 552,9               | n.a.     | 219,1       | 216,1       | n.a.     |
| 17           | 1014,2              | 514,5    | 296,8       | 198,4       | n.a.     |
| 18           | 1077,0              | 294,3    | n.a.        | 1064,0      | 32,1     |
| 19           | 784,8               | n.a.     | 215,4       | 346,8       | n.a.     |
| 20           | 1313,7              | n.a.     | 482,6       | 63,2        | n.a.     |
| 21           | 1302,3              | n.a.     | 229,4       | 109,0       | n.a.     |
| 22           | 919,8               | 1033,6   | 305,2       | 982,7       | n.a.     |
| 23           | 466,1               | n.a.     | 202,3       | 587,9       | n.a.     |
| 24           | 636,8               | 1986,6   | 265,9       | 765,6       | n.a.     |
| 25           | 455,0               | n.a.     | 271,0       | 59,1        | n.a.     |
| 26           | 1129,7              | n.a.     | 233,2       | 712,6       | 7,6      |
| 27           | 487,0               | n.a.     | 192,9       | 72,2        | n.a.     |
| 28           | 769,2               | 174,9    | 245,2       | 161,4       | 8,1      |
| 29           | 546,3               | n.a.     | 152,1       | 58,6        | n.a.     |
| 30           | 355,0               | n.a.     | 507,2       | 192,6       | 35,4     |
| 31           | 1476,5              | 303,9    | 186,3       | 273,7       | n.a.     |
| 32           | 908,2               | 291,8    | n.a.        | 228,0       | n.a.     |
| 33           | 749,9               | n.a.     | 172,9       | 70,9        | n.a.     |
| 34           | 749,9               | 149,6    | 167,5       | 77,7        | n.a.     |

n.a. – not analyzed, koncentrace analytu pod detekčním limitem



Obr. 16: Grafické znázornění hodnot inhibice při ředění 2,5; 5,0; 7,5; 10 % (v/v)